

# **CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DE SALAS DE ENSAIO - ESTUDO DE CASOS**

**ARTUR JOSÉ ALVES PATRÃO**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Professor António Pedro Oliveira de Carvalho

JULHO DE 2010

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

A meus Pais e Irmão, por tudo.

*"Grandes resultados requerem grandes ambições."*

*Heráclito*



À Ana



## **AGRADECIMENTOS**

Ao concluir o presente trabalho, gostaria de manifestar a minha gratidão a todos os que contribuíram para a sua realização, não podendo deixar de salientar as pessoas que tiveram um papel essencial na sua concretização.

Ao Professor António Pedro Oliveira de Carvalho gostaria de agradecer a disponibilidade, ajuda, interesse sempre manifestados na orientação deste trabalho, sendo para mim um grande privilégio.

Ao maestro e músicos da Banda de Música dos Mineiros do Pejão que prontamente se disponibilizaram, tornando mais fácil a caracterização dos dados acústicos da sala respectiva.

Aos músicos que ensaiam no Centro Comercial STOP, nomeadamente ao Arquitecto Nuno, por toda a disponibilidade e interesse revelados no decorrer desta dissertação.

Um agradecimento especial ao Engenheiro António Eduardo Batista da Costa, pela contribuição na realização dos ensaios nas salas de ensaio, da Banda de Música dos Mineiros do Pejão e do Centro Comercial STOP, e pelas críticas e dicas, sempre construtivas e motivadoras, durante a realização deste trabalho.

À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto pelos recursos disponíveis, ao longo deste percurso.

A todos os amigos, especialmente do 3.6, da faculdade e Sr. Paulo o agradecimento por transformarem alguns momentos difíceis, em momentos de dedicação e de alegria e por terem tornado este longo caminho mais fácil de ultrapassar.

Aos meus Pais, Irmão e à Ana, não podia de deixar de demonstrar o meu mais sincero agradecimento por estarem sempre ao meu lado e por me apoiarem incondicionalmente em todas as decisões e fases da minha vida.





## RESUMO

O presente trabalho tem por objectivo analisar a qualidade acústica de salas de ensaio para música, usando dois casos particulares de estudo: A sala de ensaio da Banda de Música do Mineiros do Pejão e as salas de ensaio do Centro Comercial STOP.

As principais características acústicas analisadas neste trabalho são o tempo de reverberação, o ruído de fundo, o isolamento sonoro entre espaços (quer a nível de ruídos aéreos quer a nível de ruídos de percussão) e incomodidade para vizinhos.

O tempo de reverberação é uma característica importante a ter em conta em salas para música, visto que as peças musicais soam habitualmente melhor em ambientes minimamente reverberados. Todas as salas estudadas são caracterizadas recorrendo a este parâmetro.

A avaliação da incomodidade, em relação ao ruído de fundo provocado por equipamentos, pode ser feita a partir de curvas *NC* (*Noise Criterion*). É importante controlar este parâmetro para evitar o ruído excessivo na sala e, assim, possibilitar uma melhor concentração aos executantes musicais, bem como diminuir a intensidade sonora, quando haja necessidade de comunicação entre os mesmos.

A incomodidade sonora para vizinhos aborda-se de acordo com o artigo 13º do RGR 2007. O cumprimento deste regulamento é verificado através da diferença entre o valor indicador do ruído ambiente, durante a ocorrência do ruído proveniente das salas em estudo ( $L_{Aeq}$  particular) e o valor indicador de ruído residual no local de estudo ( $L_{Aeq}$  residual).

No que respeita a transmissões sonoras entre espaços, quer interiores quer exteriores, é objectivo reduzi-las ao máximo, usando, sempre que possível, soluções de baixo custo. Com esta medida, baixar-se-á os ruídos intrusos nas salas de ensaio provocado por locais adjacentes, aumentando a sua qualidade sonora, bem como a concentração dos executantes e diminuir-se-á o ruído para exterior.

Numa primeira fase, são analisados problemas interiores de salas de ensaio para música, fazendo um estudo de caso (Sala de Ensaio da Banda de Música dos Mineiros do Pejão, em Pedorido). Esta análise tem como objectivo identificar as qualidades mínimas de uma sala para este fim e verificar a presença destas para o caso em estudo.

A segunda análise está relacionada com o isolamento existente nas salas de ensaio no Centro Comercial STOP do Porto. O objectivo principal é tornar as salas de ensaio o mais isoladas possível, quer a ruídos de percussão quer a ruídos de condução aérea, propondo algumas soluções para corrigir os actuais isolamentos verificados nas salas em estudo.

Todos os parâmetros acústicos analisados serão comparados com valores ideais, tentando sempre que necessário, responder aos requisitos das legislações em vigor, melhorando assim as condições de ensaio, bem como as condições acústicas nas imediações dos casos de estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Salas de ensaio, tempo de reverberação, incomodidade, ruído de fundo, isolamento sonoro, música.



## ABSTRACT

The purpose of this work is to analyze the acoustic quality in music rehearsal rooms, using two particular cases of study: the rehearsal room of the Music Band of the Mineiros do Pejão and rehearsal rooms of STOP Shopping Center.

The main acoustic features analyzed in this work are the reverberation time, the background noise, the sound isolation between spaces (both in terms of air and percussion noises) and the discomfort for the neighbors.

The reverberation time is a main feature to take into account in music rooms, as musical pieces generally sound better in minimally reverberated environments. Every room studied is characterized according to this parameter.

Discomfort regarding background noise caused by equipments can be assessed from NC curves (Noise Criterion). It is important to control this parameter in order to avoid the excessive noise in the room and therefore enable music performers to concentrate better as well as to diminish sound intensity in case they need to communicate.

Noise created by neighbors must comply with article 13th of the Portuguese General Regulation on Noise 2007. Compliance with this regulation is measured by the difference between the ambient noise level, including the noise from the study rooms, measured at the assessment location ( $L_{Aeq}$  ambient) and the noise level measured in the absence of the noise from the study rooms ( $L_{Aeq}$  residual).

Regarding sound transmission both in inner and outer spaces, the purpose is to reduce them as much as possible, using low cost solutions whenever possible. This measure will reduce intruding noises produced in surrounding places within the rehearsal rooms, thus increasing the sound quality and performers' attention and diminishing the noise to the outside.

At an earlier stage, problems within music rehearsal rooms will be analyzed using a case study (rehearsal room of the Music Band of Mineiros do Pejão, Pedorido). The purpose of this analysis is to define the minimum qualities of rehearsal rooms to be used for rehearsal purposes and to check whether the Case Study meets the minimum qualities mentioned above. In case they do not meet the qualities, an acoustic solution of the room will be proposed.

The second analysis is related with the isolation in rehearsal rooms in STOP Shopping Centre, Oporto. The main goal is to make rehearsal rooms as isolated as possible, both to percussion and air noises and to propose some solutions to correct the current isolation verified in the rehearsal rooms studied. It will therefore be possible to reduce the noise produced by the Shopping Centre STOP which has been the cause of the discomfort of the neighbors.

All acoustic parameters analyzed will be compared with target values trying, whenever possible, to meet the legislation requirements, improving the rehearsal conditions as well as the acoustic conditions in the surroundings of the study cases.

**KEYWORDS:** Rehearsal rooms, reverberation time, discomfort, background noise, sound insulation, music.



## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS .....	1
1.2. ESTRUTURA DA TESE .....	2
<b>2. Conceitos Acústicos .....</b>	<b>3</b>
2.1. PROPRIEDADES DO SOM .....	3
2.2. ABSORÇÃO SONORA .....	7
2.2.1. GENERALIDADES .....	7
2.2.2. MATERIAIS POROSOS E FIBROSOS .....	9
2.2.3. RESSOADORES .....	10
2.2.4. MEMBRANAS .....	13
2.3. TEMPO DE REVERBERAÇÃO .....	14
2.4. REFLEXÕES E GEOMETRIA DO ESPAÇO .....	17
2.5. RUÍDO DE FUNDO E INCOMODIDADE .....	18
2.6. ISOLAMENTO SONORO .....	20
2.6.1. CARACTERIZAÇÃO DE SITUAÇÕES .....	20
2.6.2. ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA .....	21
2.6.3. ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE PERCUSSÃO .....	23
<b>3. Acústica de Salas de Ensaio.....</b>	<b>27</b>
<b>4. Caracterização dos Casos em Estudo.....</b>	<b>35</b>
4.1. SALA DE ENSAIO DA BANDA DE MÚSICA DOS MINEIROS DO PEJÃO .....	35
4.1.1. IMPORTÂNCIA SOCIOCULTURAL.....	35
4.1.2. NOTA HISTÓRICA .....	36
4.1.3. DESCRIÇÃO .....	37

<b>4.2. CENTRO COMERCIAL</b>	41
4.2.1. IMPORTÂNCIA SOCIOCULTURAL	41
4.2.2. NOTA HISTÓRICA	43
4.2.3. DESCRIÇÃO	44

## 5. Resultados 49

<b>5.1. SALA DE ENSAIO DA BANDA DE MÚSICA DOS MINEIROS DE PEJÃO</b>	49
5.1.1. OBJECTIVO	49
5.1.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	49
5.1.2.1. Generalidades	49
5.1.2.2. TR estimado (antes da reabilitação)	50
5.1.2.3. Descrição do ensaio	51
5.1.2.4. Resultado dos ensaios	53
5.1.2.5. Comparação entre o TR estimado e o TR medido (com os instrumentos de membrana tapados)	56
5.1.3. RUÍDO DE FUNDO	57
5.1.3.1. Generalidades	57
5.1.3.2. Descrição do ensaio	58
5.1.3.3. Ruído de fundo no exterior da sala de ensaio da B.M.M.P.	60
5.1.3.4. Ruído de fundo no interior da sala de ensaio da B.M.M.P.	60
5.1.3.5. Comparação do ruído de fundo no exterior e no interior da sala de ensaio da B.M.M.P.	61
5.1.3.6. Análise subjectiva da sala de ensaio da B.M.M.P.	64
<b>5.2. CENTRO COMERCIAL STOP</b>	66
5.2.1. OBJECTIVO	66
5.2.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	67
5.2.2.1. Generalidades	67
5.2.2.2. Descrição do ensaio	68
5.2.2.3. Tempo de reverberação (sala 221)	68
5.2.2.4. Tempo de reverberação (sala 318)	70
5.2.2.5. Tempo de reverberação (sala 319)	71
5.2.2.6. Comparação do tempo de reverberação para as salas 221, 318 e 319	72
5.2.3. RUÍDO DE FUNDO	75

5.2.3.1. Generalidades .....	75
5.2.3.2. Descrição do ensaio.....	75
5.2.3.3. Ruído de fundo no interior da sala 319 .....	76
5.2.4. ISOLAMENTO SONORO NO CENTRO COMERCIAL STOP .....	78
5.2.4.1. Generalidades .....	78
5.2.4.2. Descrição dos ensaios .....	78
5.2.4.3. Isolamento sonoro a ruídos de condução aérea .....	81
5.2.4.4. Isolamento sonoro a ruídos de percussão .....	84
5.2.4.5. Isolamento sonoro a ruídos de condução aérea (exterior) e Incomodidade para vizinhos .....	87
<b>6. LEGISLAÇÃO E VALORES IDEAIS .....</b>	<b>89</b>
6.1. OBJECTIVO .....	89
6.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO TR .....	89
6.3. ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA .....	91
6.4. ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE PERCUSSÃO .....	93
6.5. ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA (PAREDE EXTERIOR) .....	93
6.6. INCOMODIDADE PARA VIZINHOS .....	94
6.7. RESUMO DOS VALORES PROPOSTOS .....	95
<b>7. SOLUÇÕES PROPOSTAS .....</b>	<b>97</b>
7.1. OBJECTIVO .....	97
7.2. CORRECÇÃO ACÚSTICA .....	97
7.3. ISOLAMENTO SONORO .....	99
<b>8. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....</b>	<b>109</b>
8.1. CONCLUSÕES .....	109
8.2. PISTAS PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....	112
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>113</b>





## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 - Propagação do som (analogia 2D) [1].....	3
Fig. 2.2 - Inter-relação entre potência (W), pressão (p) e intensidade (I) [3].....	4
Fig. 2.3 - Comparação de valores de pressão sonora em Pascal com valores de nível de pressão sonora em decibel (dB) [adaptado de 4].....	5
Fig. 2.4- Representação do fenómeno da absorção, reflexão e transmissão a que “raio” de energia sonora está sujeito, quando atravessa três meios diferentes, o ar e dois materiais constituintes de um elemento construtivo [4] .....	8
Fig. 2.5 - Comportamento em frequência dos três tipos de materiais e sistemas absorventes. [3].....	8
Fig. 2.6 - Características de absorção sonora de alcatifas sobre feltro, aumentando a espessura de 1 para 2 .....	9
Fig. 2.7 - Esquema básico de um ressoador. (Esquema do autor) .....	10
Fig. 2.8 - Sistema mecânico massa/mola [Adaptado de 44] .....	10
Fig. 2.10 - Eficácia de ressoadores sem material absorvente (a) e com material absorvente (b) no interior. [9].....	11
Fig. 2.11 - Esquema da aplicação de ressoadores agrupados em tectos falsos e paredes do The Times Center. (Architects: Renzo Piano Building Workshop. Acoustician: JaffeHolden Acoustics, Norwalk, CT. Photos courtesy of n'H Akustik + Design AG and RPG Diffusor Systems, Inc) [7] .....	11
Fig. 2.9 - Ressoador com material absorvente sonoro no interior. [4].....	11
Fig. 2.12 - Valores de coeficientes de absorção sonora típicos para diferentes profundidades da caixa-de-ar e dimensões dos orifícios [7] .....	12
Fig. 2.13 - Funcionamento de uma membrana ou painel ressonante. [8] .....	13
Fig. 2.14 - Características de absorção sonora de painéis ressonantes de madeira [6].....	14
Fig. 2.15 - Definição de Tempo de Reverberação (TR), valor teórico (esquerda) e obtido por extrapolação declive (direita) [3].....	14
Fig. 2.16 - Tempos de reverberação de ideias em função do uso (p/500, 1000 Hz) [Cavanaugh, 1999] [3] .....	16
Fig. 2.17 - Tempo de reverberação ideal numa sala para música para as diferentes frequências [6]..	16
Fig. 2.18 - Exemplo de uma onda reflectida ao incidir numa parede e rígida. [43] .....	17
Fig. 2.19 - Propagação de um som considerando som directo, primeiras reflexões e som reverberante [2] .....	17
Fig. 2. 20 - Crescimento do nível sonoro provocado pela existência de reflexões indesejáveis [4] .....	18
Fig. 2. 21 - Algumas fontes de ruído de fundo existente num edifício comum [43].....	18
Fig. 2. 22 - Descrição das Curvas NC (esquerda) [10] e NR (direita) [11].....	19
Fig. 2. 23 - Diversas situações de transmissão de ruídos aéreos (esq.) e de percussão (dir.) [9] .....	21
Fig. 2. 24 - Transmissões por via directa (TD) e por via marginal (TM). [43].....	21
Fig. 2. 25 - Esquemas básicos de funcionamento do isolamento sonoro a ruídos de condução aérea (aumento da massa e duplicação do elemento) [3].....	21

Fig. 2. 26 - Curva de valores de referência para ruídos de condução aérea (para o cálculo de $D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$ ) [3] .....	23
Fig. 2. 27 - Situação específica de criação de ruídos de percussão. [43] .....	24
Fig. 2. 28 - Esquema de funcionamento do isolamento sonoro a ruídos de percussão [3].....	24
Fig. 2. 29 - Curva de valores de referência para ruídos de percussão (para o cálculo de $L'_{nT,w}$ ) [3]..	25
Fig. 3. 1 - Exemplo de patamares (risers) para grupos corais [54] .....	28
Fig. 3. 2 - Sala de ensaio do caso 1, vista do maestro [55] .....	28
Fig. 3. 3 - Sala de ensaio do caso 2, vista do maestro [55] .....	29
Fig. 3. 4 - Painéis perfurados existentes no tecto que foram pintados posteriormente [55].....	29
Fig. 3. 5 - Sala de ensaio do caso 3, vista do maestro [55] .....	30
Fig. 3. 6 - Pormenor das caixas colocadas á volta da sala para baixar tempo de reverberação [55]...	30
Fig. 3. 7 - Planta dos estúdios MTech A, B e C [56].....	32
Fig. 3. 8 – a) Esquema dos apoios (Super W pads) evitando o contacto do piso com os elementos estruturais; b) colocação dos apoios (Super W pads) no piso do estúdio [56] .....	32
Fig. 3. 9 - Isolamento sonoro das paredes com elementos á base de lã de rocha [56] .....	33
Fig. 3. 10 - Isolamento sonoro do tecto com tectos falsos [56] .....	33
Fig. 3. 11 - Aspecto final dos estúdios de gravação da MTech [56].....	34
Fig. 4.1 - Localização da sala de ensaio da B.M.M.P. [46] .....	38
Fig. 4. 2 - Casa de ensaio da Banda de Música dos Mineiros do Pejão. [Foto do autor].....	39
Fig. 4. 3 - Planta da sala de ensaio da B.M.M.P. antes (a) e depois da reabilitação (b). [Planta do autor] .....	40
Fig. 4. 4 - Corte exemplificativo dos patamares construídos na reabilitação da sala de ensaio da B.M.M.P. [Corte do autor].....	40
Fig. 4. 5 - Sala de ensaio da B.M.M.P. após a reabilitação, onde se podem observar os novos patamares construídos, vista do maestro [Foto do autor].....	40
Fig. 4. 6 - Sala de ensaio da B.M.M.P. após a reabilitação vista dos patamares da percussão. [Foto do autor] .....	41
Fig. 4. 7 - Edifício ao lado do stand da Chrysler em Ramalde, com espaços utilizados como salas de ensaio como no C.C. STOP. [Foto do autor].....	42
Fig. 4. 8 - Galerias Sirius na rua 5 de Outubro, junto á Casa da Música, com espaços utilizados como salas de ensaio como no C.C: STOP. [Foto do autor].....	42
Fig. 4. 9 - Estádio 1º de Maio em Braga [58] .....	43
Fig. 4. 10 - Fachada exterior do Centro Comercial STOP, Porto [25]. .....	45
Fig. 4. 11 - Localização do C.C. STOP, Porto [46]. .....	45
Fig. 4. 12 - Centro Comercial STOP - Planta dos pisos 2 e 3, representando com “X” as salas estudadas 221, 318 e 319 [Planta fornecida por um músico do C.C. STOP].....	45

Fig. 4. 13 - Espuma Aglomex (a) [21] e fibra de coco (b). [22].....	46
Fig. 4. 14 - C.C. STOP - Sala 319, onde se vê caixas de ovos (a), fibra de coco e espuma Aglomex (b) nas paredes, bem como o aglomerado composto de cortiça (2 mm) pintando no tecto (a) e a alcatifa no pavimento (b). [Fotos do autor].....	47
Fig. 4. 15 - C.C. STOP - Sala 318, onde se verifica a colocação de caixas de ovos e betão á vista nas paredes (b), bem como alcatifa no pavimento (a). [Fotos do autor].....	47
Fig. 4. 16 - C.C. STOP - Sala 221, onde se pode observar o gesso cartonado na parede (a) e a alcatifa colocada no pavimento (b). [Fotos do autor].....	47
Fig. 4. 17 - C.C. STOP - Fachada das 319 (lilás) e sala 318 (amarelo) para o corredor, onde se podem observar as grelhas. [Foto do autor].....	48
Fig. 4. 18 - C.C. STOP - Fachada da sala 221 para o corredor, onde se podem observar as grelhas. ....	48
Fig. 5. 1 - Localização dos três pontos para avaliação do TR na sala de ensaio da B.M.M.P.. [Planta do autor] .....	52
Fig. 5. 2 - Sonómetro da marca Brüel & Kjaer mod. 2260 [Foto do autor].....	52
Fig. 5. 3 - Fonte emissora da marca Brüel & Kjaer mod. 4224 [Foto de autor].....	53
Fig. 5. 4 - Bombo destapado (a) e bombo tapado (b), com o objectivo de parar as vibrações das membranas. [Foto do autor] .....	53
Fig. 5. 5 - Valores do tempo de reverberação medidos na sala de ensaio da B.M.M.P após a reabilitação estar concluída, com instrumentos de membrana destapados. ....	54
Fig. 5. 6 - Valores do tempo de reverberação medidos na sala de ensaio da B.M.M.P após a reabilitação estar concluída, com instrumentos de membrana tapados. ....	55
Fig. 5. 7 - Comparação do TR médios na sala de ensaios da B.M.M.P. com e sem membranas destapadas. ....	55
Fig. 5. 8 - Valores dos tempos re reverberação por frequência, estimado (antes da reabilitação) e medido (após a reabilitação). ....	56
Fig. 5. 9 - Valores dos tempos de reverberação médios ( $TR_{[500/1k/2k]}$ ) da sala, estimado (antes da reabilitação) e medido (após a reabilitação). ....	57
Fig. 5. 10 - Localização dos pontos ensaiados para avaliação do LI do ruído de fundo no interior (A, B e C) e no exterior (1, 2 e 3). [Planta do autor] .....	58
Fig. 5. 11 - Medição do L do ruído de fundo no ponto 1. [Foto do autor].....	59
Fig. 5. 12 - Medição do L do ruído de fundo no ponto B. [Foto do autor] .....	59
Fig. 5. 13 - Níveis de pressão sonora ( $L_{eq}$ ) no interior e no exterior da sala de ensaio da B.M.M.P. ..	61
Fig. 5. 14 - Níveis de pressão sonora ( $LA_{eq}$ ) no interior e no exterior da sala de ensaio da B.M.M.P.	62
Fig. 5. 15 - Diferenças dos níveis de pressão sonora ( $\Delta L$ ) do exterior para o interior da sala de ensaio da B.M.M.P. ....	63
Fig. 5. 16 - Valores de alguns níveis de pressão sonora em situações correntes [19] .....	64

Fig. 5. 17 - Tempos de reverberação médios (TR[500/1k]) em função do volume (cu ft) sugeridos para estúdios de música, onde a área a sombreado é uma zona de compromisso para estúdios de música e voz em simultâneo [4].	67
Fig. 5. 18 - C.C. STOP – Mapa de pontos de medição do TR nas salas 221, 318 e 319. [Planta do autor]	68
Fig. 5. 19 - Superfícies em gesso cartonado, que conferem á sala 221 características reflectoras. [Foto do autor]	69
Fig. 5. 20 - Tempos de reverberação médios (s) medidos na sala de ensaio 221, do centro comercial STOP.	69
Fig. 5. 21 - Superfícies com caixas de ovos, que conferem á sala 318 características mais absorventes que a sala 221. [Foto do autor]	70
Fig. 5. 22 - Tempos de reverberação médios (s) medidos na sala de ensaio 318, do centro comercial STOP.	71
Fig. 5. 23 - Superfícies com espuma Aglomex e fibra de coco, que conferem á sala 319 características mais absorventes que a sala 318. [Foto do autor]	71
Fig. 5. 24 - Tempos de reverberação médios (s) medidos na sala de ensaio 319, do centro comercial STOP.	72
Fig. 5. 25 - Tempos de reverberação médios (s) medidos nas salas de ensaio 221, 318 e 319, do centro comercial STOP	73
Fig. 5. 26 - Tempos de reverberação (s) nas salas de ensaio 221, 318 e 319, do centro comercial STOP.	73
Fig. 5. 27 - Tempos de reverberação ideais em função do volume da sala (cu ft). [Adaptado de 4] ...	74
Fig. 5. 28 - Comparação entre os valores ideais [adaptado de 4] e os valores reais de TR para as salas estudadas no C.C. STOP	75
Fig. 5. 29 - Localização dos pontos para quantificar os níveis de pressão sonora do ruído de fundo na sala 319 do C.C. STOP.	76
Fig. 5. 30 - Níveis de pressão sonora medidos nas curvas NR [36] (a) e NC [35] (b)	77
Fig. 5. 31 - Mapa de pontos de medição do isolamento sonoro entre as salas 318 -319 e corredor-318, para as diferentes posições da fonte sonora (A e B). [Planta do autor]	79
Fig. 5. 32 - Mapa de medições dos níveis de pressão sonora para a sala receptora (sala 221). [Planta do autor]	80
Fig. 5. 33 - Máquina de impactos normalizada nos três diferentes pisos da sala 319.	80
Fig. 5. 34 - C.C. STOP – Medição do nível de pressão sonora na sala 319 (emissora), para se obter o DnT,w da parede divisória (parede representada na fotografia). [Foto do autor]	81
Fig. 5. 35 - C.C. STOP – Medição do nível de pressão sonora no corredor, para se calcular o isolamento sonoro da divisória de caixilharia existente. [Foto do autor]	82
Fig. 5. 36 - C.C. STOP - Pormenor das grelhas existentes nas portas da caixilharia para o corredor. [Foto do autor]	82

Fig. 5. 37 - C.C. STOP - Isolamento sonoro a ruídos de percussão por banda de 1/3 oitava, para os três diferentes tipos de revestimento do piso da sala 319 .....	86
Fig. 5. 38 - C.C: STOP - Isolamento sonoro a ruídos de percussão para os três diferentes tipos de revestimento do piso da sala 319 .....	86
Fig. 6. 1 - PDM do Porto, onde se verifica que o C.C: STOP está numa zona mista e na fronteira com uma zona sensível. [27] .....	94
Fig. 7. 1 - Painéis difusores convexos Tipo II a colocar na sala de ensaio da B.M.M.P. [32] .....	98
Fig. 7. 2 - Modo de funcionamento da solução proposta anteriormente, painéis difusores/absorventes [32] .....	99
Fig. 7. 3 - Exemplo de duas salas de ensaio que utilizam painéis difusores/absorventes [32] .....	99
Fig. 7. 4 - Possível solução de gesso cartonado e lã de rocha para um elemento a funcionar em conjunto com a parede já existente [30] .....	101
Fig. 7. 5 - Possível solução em gesso cartonado e lã de rocha para o novo elemento sozinho [30]..	101
Fig. 7.6 - Porta modelo SILENTIUM PM 43RE – Proposta de solução para as entradas das salas do C.C. STOP [31]. .....	102
Fig. 7. 7 - Situação actual com salas separadas do exterior apenas por uma caixilharia em alumínio [Planta fornecida por um músico do C.C. STOP] .....	103
Fig. 7. 8 - Solução proposta para colmatar os problemas de isolamento sonoro da fachada para o exterior [Alterações do autor]. .....	104
Fig. 7. 9 - Porta modelo SILENTIUM PM 43CF – Proposta de solução para as portas de acesso ao novo corredor. [31] .....	104
Fig. 7. 10 - Aspecto final e esquema da solução (sistema A.062 da EXTRUSAL) proposta para a fachada exterior do C.C. STOP [51] .....	105
Fig. 7. 11 - Aspecto final da solução proposta para os tectos (modelo <i>ARTIC</i> da ROCKFON), para ajudar a colmatar os ruídos de percussão e melhorar a absorção e estética das salas do C.C: STOP [59] .....	106
Fig. 7. 12 – Paineis difusor e absorvente <i>SQUARYDIFFUSOR</i> da JOCAVI, para colocar nas paredes interiores das salas de ensaio do C.C. STOP [50]. .....	107

## ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

Quadro 2. 1 - Potência máxima ao ar livre, a uma distância de 3 m. [2] .....	4
Quadro 2. 2 - Níveis de intensidade ( $L_i$ ) de alguns sons relacionados com a música [2] .....	6
Quadro 2. 3 - Relação entre o isolamento sonoro efectivo de um elemento de separação e as condições de audibilidade no compartimento receptor [adaptado de 6 e 3] .....	22
Quadro 4. 1 - Características da sala de ensaio da Banda de Música dos Mineiros dos Pejão, antes e após a reabilitação. ....	39
Quadro 4. 2 - Características das salas de ensaio estudadas no centro comercial STOP (Porto), salas 319, 318 e 221 .....	46
Quadro 5. 1 - Coeficientes de absorção ( $\alpha$ ) sonora característicos dos elementos confinantes da sala de ensaio da B.M.M.P .....	50
Quadro 5. 2 - Absorções sonoras ( $m^2$ ) das superfícies para cada frequência e os tempos de reverberação estimados para a sala de ensaio da B.M.M.P antes da reabilitação .....	51
Quadro 5. 3 - Valores do tempo de reverberação (s) medidos na sala de ensaio da B.M.M.P após a reabilitação estar concluída, com instrumentos de membrana destapados .....	54
Quadro 5. 4 - Valores do tempo de reverberação medidos (s) na sala de ensaio da B.M.M.P após a reabilitação estar concluída, com instrumentos de membrana tapados .....	54
Quadro 5. 5 - Níveis de pressão sonora ( $L_{eq}$ ) medidos no exterior da sala de ensaio devido ao ruído de fundo .....	60
Quadro 5. 6 - Níveis de pressão sonora com filtro A ( $L_{Aeq}$ ), medidos no exterior da sala de ensaio, devido ao ruído de fundo .....	60
Quadro 5. 7 - Níveis de pressão sonora ( $L_{eq}$ ) medidos no interior da sala de ensaio, devido ao ruído de fundo .....	60
Quadro 5. 8 - Níveis de pressão sonora ( $L_{Aeq}$ ), medidos no interior da sala de ensaio, devido ao ruído de fundo .....	61
Quadro 5. 9 - Valores médios dos níveis de pressão sonora ( $L_{eq}$ ) do ruído de fundo no exterior e no interior da sala de ensaio .....	61
Quadro 5. 10 - Valores médios dos níveis de pressão sonora ( $L_{Aeq}$ ) do ruído de fundo no exterior e no interior da sala de ensaio .....	62
Quadro 5. 11 - Resultados do inquérito realizado aos músicos e maestro da B.M.M.P .....	65
Quadro 5. 12 - Valores do tempo de reverberação (s) medidos na sala de ensaio 221, do centro comercial STOP .....	69
Quadro 6. 1 - Valor do tempo de reverberação (s) e incerteza (I) associada, para a analogia de salas de aula com salas de ensaio para música, com base no R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008. ....	90

Quadro 6. 2 - Valores do tempo de reverberação para salas para música adoptadas noutras regulamentações internacionais .....	91
Quadro 6. 3 - Valores do R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008 para o índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea, $D_{nT,w}$ (dB) .....	91
Quadro 6. 4 - Valores da regulamentação nacional (R.R.A.E.) e internacional (BB93), para o índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea .....	92
Quadro 6. 5 - Valores da regulamentação nacional (R.R.A.E) e internacional (BB93), para o índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão. ....	93
Quadro 6. 6 - Quadro resumo dos valores propostos para o TR e isolamentos sonoros nos casos de estudo .....	95
Quadro 7. 1 - Quadro resumo dos valores obtidos nos ensaios e os valores ideais/aconselhados propostos no capítulo 6. ....	100
Quadro 7. 2 - Eficiência das soluções propostas para melhoria do isolamento a ruídos de condução aérea .....	101
Quadro 7. 3 - Coeficientes de absorção sonora das soluções propostas para o tecto [31] e para as paredes [50] das salas do C.C. STOP .....	107
Quadro 7. 4 - Absorções sonoras ( $m^2$ ) das superfícies depois da aplicação das soluções propostas e respectivos tempos de reverberação (s) para a sala 319 do C.C. STOP. ....	108
 Quadro 8.1 - Quadro resumo dos valores medidos na sala de ensaio da B.M.M.P. ....	109
Quadro 8.2 - Quadro resumo dos valores existentes, os ideais/aconselhados e possivelmente atingidos com as soluções propostas, para as salas de ensaio do C.C: STOP. ....	111

## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

B&K – Brüel & Kjaer

$c$  – Celeridade (m/s)

$D$  – Som directo

$E$  – Emissor

$I$  – Intensidade Sonora ( $W/m^2$ )

$I_0$  – Intensidade Sonora de referência ( $10^{-12} W/m^2$ )

$LA$  – Nível pressão sonora (dBA)

$L_p$  – Nível de pressão sonora (dB)

$LI$  – Nível de intensidade sonora (dB)

$L_w$  – Nível de potência sonora (dB)

$L_{eq}$  – Nível sonoro contínuo equivalente, (dB)

$L_{Aeq}$  – Nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A (dB)

$\Delta L$  – Variação do nível sonoro

NC – Noise Criterion

NR – Noise Rating

$p$  – Pressão (Pa)

$p_0$  – Pressão de referência ( $20 \times 10^{-6}$  Pa)

$R$  – Receptor

$r$  – Distância à fonte (m)

RF – Ruído de Fundo (dB)

$S$  – Área ( $m^2$ )

$T$  – Temperatura do ar (K)

TR – Tempo de Reverberação (s)

$TR_{[500/1k]}$  – Tempo de reverberação médio nas frequências 500 Hz e 1000 Hz

$TR_{[500/1k/2k]}$  – Tempo de reverberação médio nas frequências 500 Hz, 1000 Hz e 2000Hz

$V$  - Volume ( $m^3$ )

$W$  – Potência Sonora (W)

$W_0$  – Potência Sonora de referência ( $10^{-12}$  W)

$\alpha$  – Coeficiente de absorção sonora

$\rho$  – Massa volúmica do ar

F.C. – Factor de correcção



C. C. STOP – Centro Comercial STOP, Porto

B.M.M.P. – Banda de Música dos Mineiros do Pejão, Pedorido – Castelo de Paiva

R.R.A.E. – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado



# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS

Diariamente todos os seres humanos estão expostos a diferentes tipos de ruído no trabalho, na rua e até em casa, sendo muitos destes nocivos à saúde física e até emocional de cada um de nós.

Pensando em todas estas problemáticas, a acústica, como ciência que estuda o som, tem vindo a ganhar grande relevo nas sociedades actuais, contribuindo para uma melhoria geral das condições de vida da maioria das pessoas. No entanto, por desconhecimento ou por negligência dos construtores são frequentes as más práticas a este nível, revelando-se tanto mais graves quanto maior é a exigência de desempenho dos espaços em questão.

Tal como em obras de grande importância dedicadas à música, também nas de pequena envergadura é importante existir um estudo acústico, adequando o espaço para a utilidade que se deseja.

Em Portugal existe uma mentalidade que desvaloriza a contribuição de técnicos acústicos qualificados na fase de projecto, com o objectivo de antever e evitar problemas, tanto a nível da qualidade do som interior bem como na do isolamento sonoro dos edifícios.

Esta cultura leva a que cada vez mais seja necessário intervir numa óptica de recuperação/reabilitação de um espaço e não da construção de raiz de edifícios já munidos das qualidades necessárias para os fins a que se destinam, o que evitaria gastos tão avultados na aplicação das soluções necessárias.

Por vezes, passa-se um fenómeno diferente ao anteriormente descrito, que é o facto de os edifícios mudarem a sua utilização tipo durante a sua vida útil, levando a uma mudança nas suas características como acontece nos dois casos em estudo neste trabalho.

Um espaço arquitectónico deve cumprir uma função que, na grande maioria é inseparável das características acústicas. Salas de concerto, ensaio, teatros, igrejas ou cinemas têm aspectos acústicos próprios. Assim, se uma sala projectada para a música for demasiado “seca”, será frustrante para os músicos.

Para alcançar estes objectivos, é importante perceber até que ponto o edificado pode condicionar possíveis correcções e, assim, propor soluções a utilizar, com o objectivo de criar espaços para a música, criando em todos os intervenientes no projecto a mentalidade de “escutar o edifício em si”, não sobrepondo as características arquitectónicas a muitas outras nomeadamente a acústica.

Assim, pretende-se com este estudo compreender o funcionamento mais aprofundado do comportamento acústico de salas de ensaio e adaptar, acusticamente, dois edifícios que sofreram alterações na sua utilização-tipo, ao longo da sua vida útil.

No caso do centro comercial STOP no Porto existiu a necessidade de adaptar um edifício construído inicialmente para o comércio, para um edifício usado maioritariamente para salas de ensaio de bandas de diferentes estilos musicais. Esta alteração de utilidade do edifício aumentou em grande escala o ruído por ele produzido, levando à incomodidade dos habitantes das redondezas.

Com a correcção acústica da sala de ensaio da Banda de Música dos Mineiros do Pejão em Castelo de Paiva, pretende-se analisar as características acústicas para a sua utilização actual, substituindo as anteriores direccionadas para o uso como jardim-de-infância.

## **1.2. ESTRUTURA DA TESE**

O presente trabalho está organizado da seguinte forma:

- No Capítulo 1, “Introdução”, é referido o objectivo deste trabalho e elaborado um pequeno enquadramento do tema nas problemáticas mais comuns da acústica, bem como a sua estrutura global.
- No Capítulo 2, “Conceitos acústicos”, são apresentados os principais conceitos e definições para um bom entendimento do conteúdo deste trabalho.
- No Capítulo 3, “Acústica de salas de ensaio”, é feita uma pequena apresentação de alguns estudos existentes, relacionados com salas de ensaio e estúdios para música.
- No Capítulo 4, “Caracterização dos casos de estudo” são apresentadas as características de cada sala e o fim a que se destinam.
- No Capítulo 5, “Resultados”, são apresentados todos os resultados dos ensaios efectuados nas salas de estudo em questão.
- No Capítulo 6, “Legislação e valores ideais”, apresentam-se os valores regulamentares mínimos a cumprir bem como valores ideais na situação da sala de ensaio da banda filarmónica em causa, comparando-os com os valores medidos.
- No Capítulo 7, “Soluções propostas”, são apresentadas pistas genéricas de soluções para as problemáticas em causa, nomeadamente correcção acústica para a sala de ensaio em Castelo de Paiva e Isolamento sonoro para o Centro comercial STOP.
- No Capítulo 8, “Conclusões e desenvolvimento futuros”, são apresentadas conclusões sobre trabalho desenvolvido e apresentadas algumas propostas de trabalhos futuros mais aprofundados sobre salas de ensaio.
- No Capítulo 9, “Referências bibliográficas”, são listadas as referências de suporte para este trabalho.

## 2

## CONCEITOS ACÚSTICOS

## 2.1. PROPRIEDADES DO SOM

Às vibrações que se propagam no ar, que ao atingir o ouvido humano provocam uma sensação auditiva agradável definem-se como **som**, no caso de provocar uma sensação auditiva desagradável haverá **ruído**. Tais vibrações são provocadas pela variação da pressão no meio de propagação das ondas sonoras (normalmente o ar). Esta propagação é estabelecida através da colisão sucessiva entre partículas do meio, sob a forma de ondas esféricas (3D) concêntricas tendo como ponto central a fonte sonora.

Fazendo a analogia com um modelo real, pode-se recorrer à acção de atirar uma pedra a um lago, que origina ondas concêntricas (2D) a partir do ponto de embate (fonte sonora) que se estende até perder toda a sua intensidade, tal como o som (Fig. 2.1).

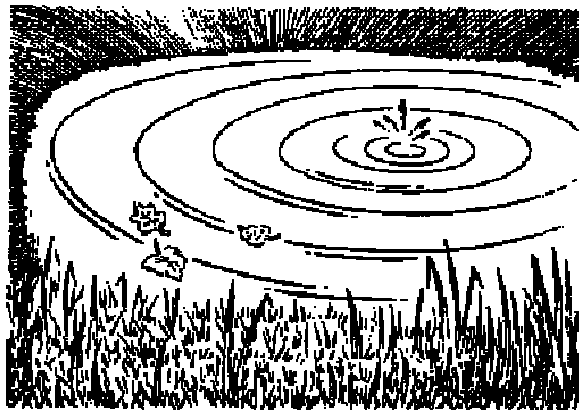


Fig. 2. 1 - Propagação do som (analogia 2D) [1].

A intensidade sonora ( $I$ ) pode ser definida como a quantidade média de energia que num segundo atravessa uma área de  $1 \text{ m}^2$ , perpendicular à direcção dessa mesma energia e quantifica-se em  $\text{W/m}^2$ . Esta grandeza permite avaliar a componente direccional do som, representando-o assim por uma grandeza vectorial e não escalar, como no caso da pressão sonora.

À energia total que num segundo atravessa uma esfera fictícia de raio qualquer centrada na fonte sonora, denomina-se por potência sonora ( $W$ ) e é quantificada em watt ( $W$ ).

Considerando-se um instrumento musical como um sistema físico que radia ondas sonoras, este facto deve-se à potência sonora fornecida pelo músico ou por um mecanismo ao instrumento que este transformará em som. De toda a potência envolvida neste processo, só uma pequena parte é realmente transformada em som, sendo esta medida em watts, que alguns autores denominam de watts acústicos.

O quadro 2.1 apresenta alguns exemplos de potência sonora, que se podem encontrar em instrumentos musicais de uma banda filarmónica.

Quadro 2. 1 - Potência máxima ao ar livre, a uma distância de 3 m [2].

Instrumento	Potência (watt)	Instrumento	Potência (watt)
Bombo	25	Tuba	0,21
Pratos	9,5	Flauta	0,05
Trombone	6,4	Flautim	0,08
Trompete	0,33	Clarinete	0,05

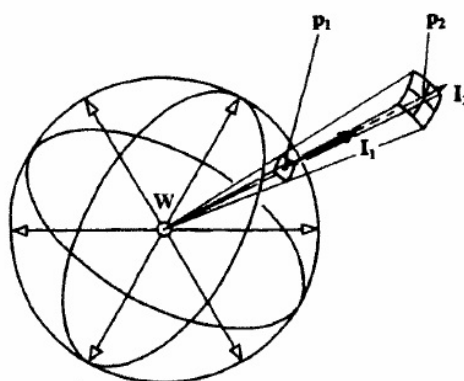


Fig. 2. 2 - Inter-relação entre potência ( $W$ ), pressão ( $p$ ) e intensidade ( $I$ ) [3].

A par destas duas grandezas não se pode esquecer a importância também da pressão sonora, na análise da propagação do som (Fig. 2.2).

Estas grandezas ( $I$ ,  $W$  e  $p$ ) podem ser relacionadas matematicamente da seguinte maneira (2.1):

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho \cdot c} \quad (2.1)$$

Onde,  $I$  – intensidade sonora ( $W/m^2$ );

$W$  – potência sonora ( $W$ );

$r$  – distância ( $m$ );

$p$  – pressão sonora ( $Pa$ );

$\rho$  – massa volúmica (ar) 1,2 kg/m<sup>3</sup>;

$c$  – celeridade (m/s) =  $20,045\sqrt{T}$  com  $T(K) = 273,15 + \theta$  (°C).

O valor mínimo da variação de pressão sonora que um ser humano jovem com audição normal consegue ouvir é de 10<sup>-5</sup> Pa, denominado como *limiar da audição*, sendo que o *limiar da dor* dá-se para uma variação de pressão de cerca de 100 Pa [3].

A partir dos valores de pressão ( $p$ ), podem-se obter níveis de pressão sonora ( $L_p$ ), convertendo-se os valores recorrendo às fórmulas 2.2 e 2.3.

$$L_p = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} \quad (2.2) \quad \text{ou} \quad L_p = 10 \cdot \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad (2.3)$$

Sendo  $p_0$  – pressão sonora de referência,  $20 \times 10^{-6}$  Pa

Os níveis de pressão sonora são quantificados em *decibel* (dB), unidade que é a décima parte do *bel*. Esta denominação surgiu em honra do cientista Alexander Graham Bell e aparece para colmatar os problemas no uso de escalas lineares em *pascal*, que conduziriam a valores muito díspares e de uso pouco prático, acrescentando ainda o facto de o ouvido não responder de forma linear aos estímulos mas de uma forma quase logarítmica.

O valor de referência  $p_0$  surge como valor de referência e corresponde ao valor do som no ar e mínimo audível, representado na escala decibel pelo valor 0 dB (Fig 2.3).

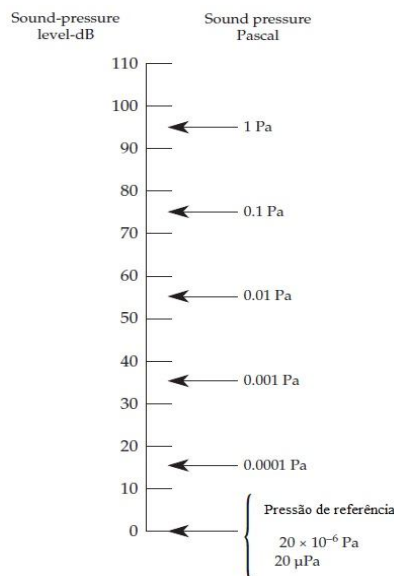


Fig. 2. 3 - Comparação de valores de pressão sonora em Pascal com valores de nível de pressão sonora em decibel (dB) [adaptado de 4].

Para se caracterizarem certos fenómenos sonoros pode-se recorrer também a outras grandezas medidas em dB. Assim, existem diferentes níveis quando se utilizam outros valores como referência. É o caso dos níveis de intensidade sonora ( $L_i$ ) (2.4) ou dos níveis de potência sonora ( $L_W$ ) (2.5).

$$L_i = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \text{ (dB)} \quad (2.4)$$

$$L_W = 10 \cdot \log \frac{W}{W_0} \text{ (dB)} \quad (2.5)$$

Com,  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

$W_0 = 10^{-12} \text{ W}$

Para perceber a ordem de grandeza dos níveis de intensidade esperados no decorrer do trabalho, apresentam-se no quadro 2.2 os valores correntes e que dependem essencialmente das geometrias da fonte sonora, e da sala em questão.

Quadro 2. 2 - Níveis de intensidade ( $L_i$ ) de alguns sons relacionados com a música [2].

Sons	Nível (dB)
Estúdio de gravação	30
Orquestra sinfónica ( <i>tutti fortissimo</i> )	100
Concerto de rock amplificado	110/120

Quando se combinam várias fontes sonoras em simultâneo, a intensidade sonora é previsivelmente superior à intensidade de cada um deles. No entanto, não se pode calcular a intensidade resultante pela soma aritmética de todas as intensidades, como seria espectável. Se assim fosse, 3 trompas tocando simultaneamente um som *forte* de 80 dB produziriam um som de 240 dB [2], o que não corresponde à realidade.

Como os níveis de intensidade sonora (dB) são definidos numa escala logarítmica, então os seus valores não se podem somar algebricamente tendo, por isso, necessidade de recorrer a expressões matemáticas para obter o resultado desta mesma soma.

Em caso de existirem duas fontes sonoras, que num determinado ponto produzem o mesmo valor para o nível de pressão sonora ( $L_1$ ) (2.6), o valor resultante da pressão ( $L_{soma}$ ) pode ser determinado recorrendo às seguintes expressões (2.7):

$$L_1 = 10 \cdot \log \frac{p_1^2}{p_0^2} \quad (2.6)$$



$$L_{Soma} = 10. \log \left( \frac{p_1^2}{p_0^2} + \frac{p_1^2}{p_0^2} \right) = 10. \log \left( \frac{2p_1^2}{p_0^2} \right) =$$
(2.7)

$$10. \log 2 + 10. \log \frac{p_1^2}{p_0^2} = 3 + L_1 \Rightarrow L_{soma} = 3 + L_1$$

Admitindo que as fontes sonoras têm níveis de pressão sonora ( $L_i$ ) diferentes, o valor resultante ( $L_{soma}$ ) pode ser determinado a partir da expressão 2.8, podendo usar-se esta como expressão geral para adicionar  $n$  níveis.

$$L_{soma} = 10. \log \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (2.8)$$

Como curiosidade fica o facto de quando se somam níveis de pressão sonora com diferença superior a 10 dB o resultado final é aproximadamente igual ao nível maior. Logo quando estão vários instrumentos musicais a tocar ao mesmo tempo, silenciar apenas um não influenciará em nada na pressão sonora total, a menos que o instrumento retirado seja o que toca mais intensamente.

## 2.2. ABSORÇÃO SONORA

### 2.2.1. GENERALIDADES

A energia das ondas sonoras durante o processo de propagação sofre atenuações provocadas pelo meio que está a atravessar, neste processo ocorrem transformações de energia sonora em outra qualquer forma energética, normalmente a térmica. A absorção de um meio é provocada por perdas de várias origens: perdas pela viscosidade do meio, por condução de calor e por fenómenos de relaxação muscular [2].

Chama-se *coeficiente de absorção sonora* ( $\alpha$ ) à grandeza que permite medir e representar a relação existente entre a quantidade de energia sonora absorvida por um determinado material e aquela que realmente nele incide. Assim pode-se definir  $\alpha$  pela relação matemática (2.9).

$$\alpha = \frac{E_{absorvida}}{E_{incidente}} \quad (2.9)$$

Na prática pode-se associar a absorção sonora à estrutura interna de um dado material, por exemplo a cortiça é mais absorvente que um azulejo. A quantidade de energia sonora transformada é tanto maior quanto mais poroso for o material onde esta energia incide (Fig 2.4).

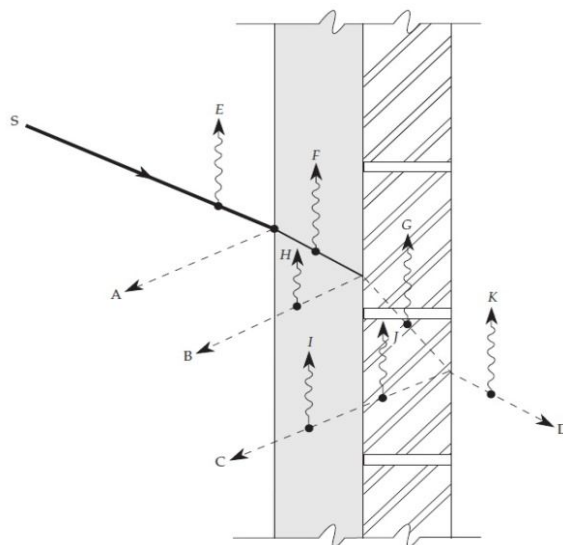


Fig. 2. 4 - Representação do fenômeno da absorção, reflexão e transmissão a que “raio” de energia sonora está sujeito, quando atravessa três meios diferentes, o ar e dois materiais constituintes de um elemento construtivo [4].

Quanto mais poroso for um material, maior é o seu coeficiente de absorção podendo variar entre os valores de 0 e 1, representando superfícies totalmente reflectoras e absorventes respectivamente.

No caso da determinação experimental do  $\alpha$  podem surgir valores superiores à unidade (impossibilidade física) para materiais muito absorventes. Isto acontece devido à difracção do som nos bordos da amostra que faz parecer (acusticamente) maior [3].

Os sistemas e materiais absorventes sonoros podem dividir-se em três grupos distintos a partir da gama de frequência que estes absorvem nomeadamente:

- *Porosos e fibrosos;*
- *Ressoadores;*
- *Membranas.*

Estes três tipos de materiais actuam em frequências específicas (Fig. 2.5), sendo os porosos mais eficazes nas altas frequências, os ressoadores mais indicados nas médias e nas baixas são aconselhadas materiais do tipo membranas.

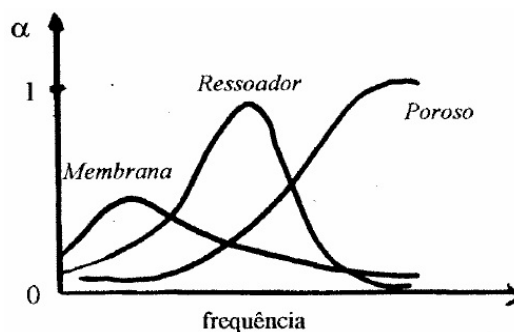


Fig. 2. 5 - Comportamento em frequência dos três tipos de materiais e sistemas absorventes [3].

### 2.2.2 MATERIAIS POROSOS E FIBROSOS

Designam-se por materiais porosos e fibrosos, aqueles em que o sólido ocupa apenas parte do volume total, sendo o restante formado por pequenos espaços de ar comunicantes entre si.

O movimento do ar, devido às variações de pressão, transmite-se nestes pequenos espaços onde intervêm a viscosidade do mesmo, amortecendo assim os movimentos provocados e assim introduzindo uma atenuação e respectiva absorção.

Como exemplo de materiais podem-se enumerar as alcatifas, placas de fibra de madeira, aglomerado de cortiça, lã de rocha, lã de vidro, entre outros. Estes materiais apresentam uma absorção crescente com a frequência, sendo normalmente muito reduzida para baixas frequências.

Na fig. 2.6 são apresentados comportamentos da absorção sonora de uma alcatifa delgada do tipo lisa, assente sobre feltro pouco espesso (diagrama 1) e de uma outra mais espessa tipo veludo, assente em feltro também ele espesso (diagrama 2). Como base para ambos os revestimentos tem-se um pavimento rígido.

Da análise destes valores, pode-se concluir a eficácia deste tipo de absorventes sonoros para as altas frequências e a sua dependência com a espessura usada, notando-se o aumento de  $\alpha$  de 1 para 2.

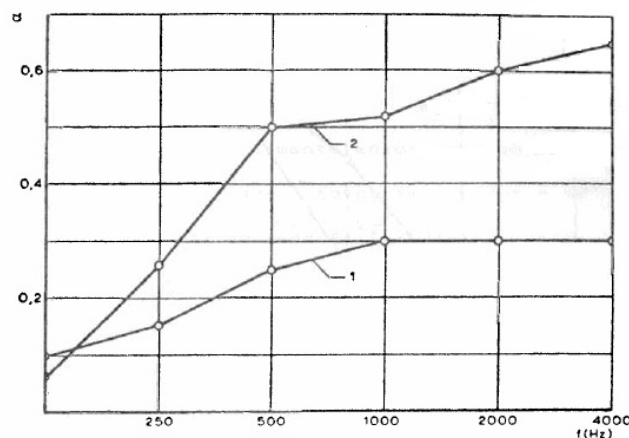


Fig. 2. 6 - Características de absorção sonora de alcatifas sobre feltro, aumentando a espessura de 1 para 2

1- Delgada (tipo lisa) 2- Espessa (Tipo veludo) [6].

### 2.2.3 RESSOADORES

Um ressoador de *Helmholtz* é um sistema formado por uma cavidade (de paredes rígidas) tendo uma única abertura estreita (Fig 2.7). O ar do gargalo é colocado em vibração, entrando e saindo do gargalo, de modo idêntico ao que acontece num sistema mecânico massa/mola (Fig. 2.8). A massa em movimento é a do ar contido no gargalo e a mola é o ar existente no volume interior.

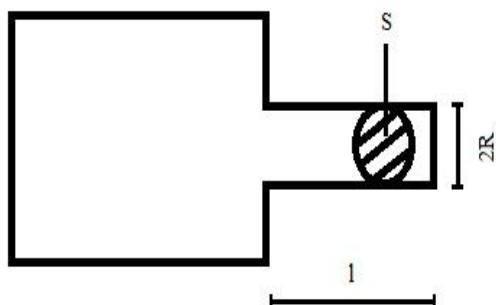


Fig. 2. 7- Esquema básico de um ressoador (Esquema do autor).

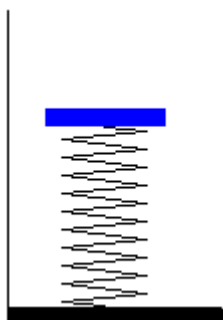


Fig. 2. 8 - Sistema mecânico massa/mola [Adaptado de 44].

Quando uma onda sonora atinge a superfície de entrada do gargalo da cavidade ressonante (ex: ressoador de Helmholtz), provoca deslocamentos alternados à massa de ar aí contida, que acompanhados da dissipação de energia provocada por atrito do ar contra a parede do gargalo, definem o processo de absorção em materiais deste tipo.

A frequência de eficácia de um ressoador pode ser obtida pela expressão 2.10. Para melhorar esta eficácia pode-se introduzir material absorvente sonoro no volume interior (Fig 2.9). Este processo além de melhorar a gama de frequências absorvida por estes materiais, também diminui a amplitude da absorção nas médias frequências (Fig. 2.10).

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V(l+1,6r)}} \quad (2.10)$$

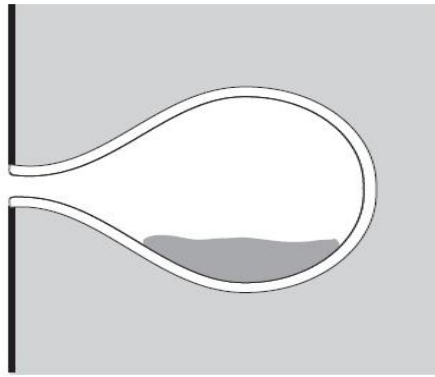


Fig. 2. 9 - Ressonador com material absorvente sonoro no interior [4].

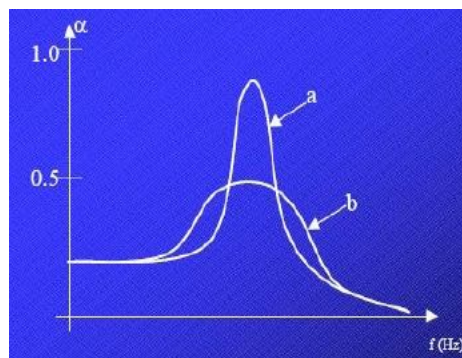


Fig. 2 10 - Eficácia de ressoadores sem material absorvente (a) e com material absorvente (b) no interior [9].

Dentro da categoria dos ressoadores, podem-se englobar os ressoadores agrupados. Os exemplos mais vulgares deste tipo de ressoadores são os painéis perfurados metálicos ou de madeira (Fig. 2.11), utilizados principalmente em tectos falsos.

A eficácia destes ressoadores, em termos de frequência, pode ser determinada pela expressão de cálculo 2.11, sendo esta válida para frequências menores que 3400 Hz [3]

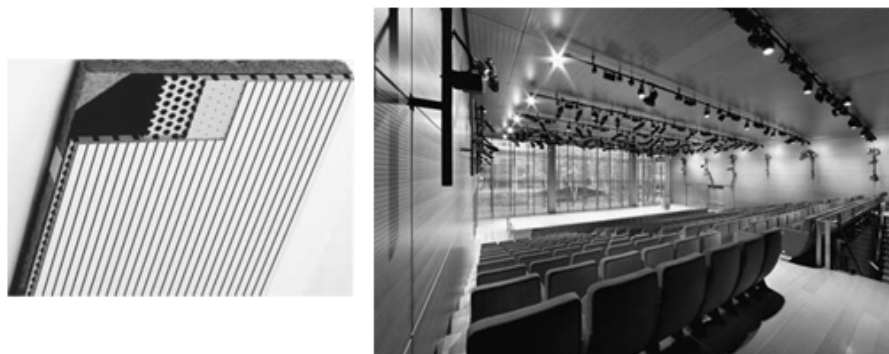


Fig. 2. 11 - Esquema da aplicação de ressoadores agrupados em tectos falsos e paredes do The Times Center. (Architects: Renzo Piano Building Workshop. Acoustician: JaffeHolden Acoustics, Norwalk, CT. Photos courtesy of n'H Akustik + Design AG and RPG Diffusor Systems, Inc) [7].

Os furos destes ressoadores funcionam como gargalos e os volumes ressonantes estão inter-conectados formando uma caixa-de-ar, funcionando como se tratasse de uma série de ressoadores individuais.

$$f = \frac{10.c}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{(e+1,6r).d}} \quad (2.11)$$

Sendo,      P – percentagem de área perfurada (%);  
               e – espessura da placa perfurada (cm);  
               r – raio de cada perfuração (cm);  
               d – largura da caixa de ar (cm).

Na figura 2.12, são apresentados coeficientes de absorção sonora típicos de um ressoador agrupado, fazendo-se variar a profundidade da caixa-de-ar e o tamanho dos orifícios.

Da análise desses valores, pode-se afirmar que o aumento dos orifícios provoca um aumento de absorção sonora nas frequências mais elevadas. Já o aumento da profundidade da caixa-de-ar provoca uma diminuição do pico de absorção da frequência, como o previsto e anteriormente referido.

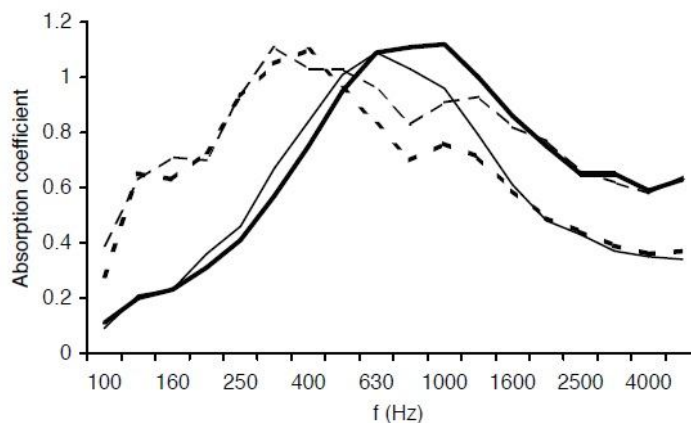


Fig. 2. 12 -Valores de coeficientes de absorção sonora típicos para diferentes profundidades da caixa-de-ar e dimensões dos orifícios [7].

- Orifícios pequenos, cavidade rasa;
- Orifícios grandes, cavidade rasa;
- - - Orifícios pequenos, cavidade profunda;
- - - Orifícios grandes, cavidade profunda.

#### 2.2.4. MEMBRANAS

As membranas (denominadas também de membranas ressonantes ou painéis vibrantes) são sistemas extremamente eficazes e aconselháveis para atenuação nas baixas frequências (Fig. 2.5). São sistemas que absorvem as ondas sonoras pela vibração de toda a sua estrutura, constituída por grandes áreas de painéis de pequena espessura e através de perdas de calor por fricção nas suas fibras quando o material entra em flexão (Fig. 2.13).

A frequência para qual a absorção sonora é máxima para estes materiais, é a frequência de ressonância e pode ser calculável a partir da expressão 2.12 [8].

$$f = \frac{60}{\sqrt{m \cdot d}} \quad (2.12)$$

Onde,  $m$  – é a massa superficial do painel ( $\text{Kg/m}^2$ );  
 $d$  – caixa-de-ar (m).



Fig. 2 13 - Funcionamento de uma membrana ou painel ressonante [8].

Na figura 2.14 é apresentado um diagrama onde se pode verificar que o acréscimo da espessura da caixa-de-ar limitada pelo painel vibrante resulta na redução do valor da frequência de ressonância [6].

Em conclusão, refere-se que normalmente são associados painéis membrana que absorvem no domínio das baixas frequências, essencialmente por mecanismos de ressonância, com materiais que asseguram a absorção nas frequências elevadas, materiais porosos.

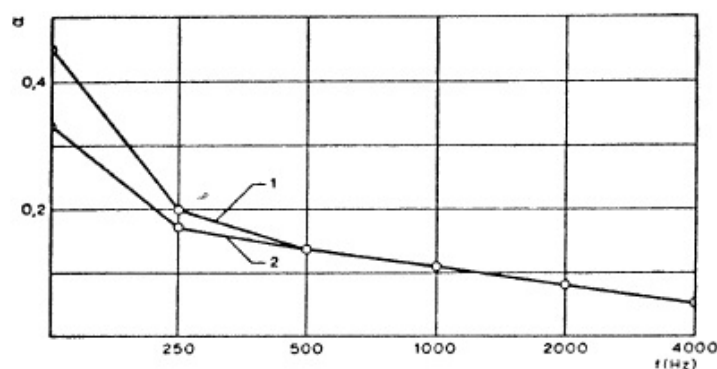


Fig. 2. 14 - Características de absorção sonora de painéis ressonantes de madeira [6]:

- 1- Caixa-de-ar com 30 mm de espessura
- 2- Caixa-de-ar com 60 mm de espessura

### 2.3. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Um dos principais parâmetros acústicos mais importantes numa sala para música é o tempo de reverberação, devido à necessidade destas terem um  $TR$  específico para que as notas musicais não sejam entendidas com excessiva clareza.

Este parâmetro ( $TR$ ) é definido como o intervalo de tempo em que um som demora a decair 60 dB, desde que a fonte sonora deixa de emitir. Na prática, nem sempre se torna possível fazer o decaimento de 60 dB, devido à presença de ruído de fundo. Assim há necessidade de recorrer a um outro parâmetro o  $TR_{30}$ , tempo que o som demora a decair 30 dB e, seguidamente, extrapolar para os 60 dB (Fig. 2.15).

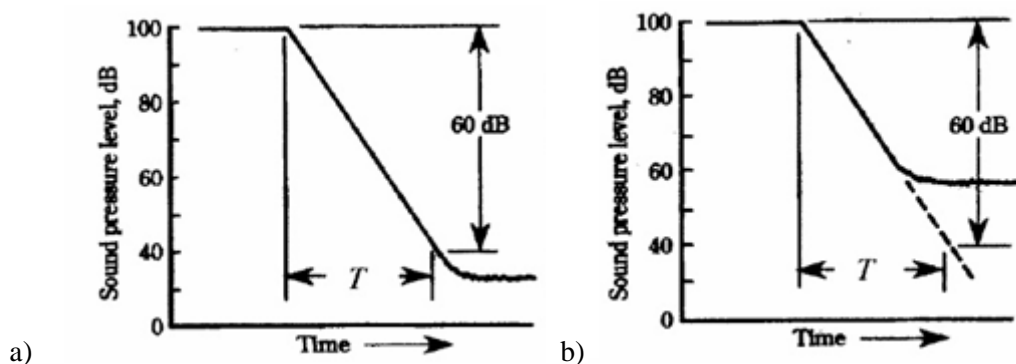


Fig. 2. 15 - Definição de Tempo de Reverberação ( $TR$ ), valor teórico (a) e obtido por extrapolação declive (b) [3].

Wallace Clement Sabine (13 de Junho de 1868 - 10 de Janeiro de 1919) foi um físico norte-americano, que propôs a primeira fórmula de cálculo para o tempo de reverberação (2.13), formulação essa que mereceu seu nome e que, ao longo dos anos, tem sofrido algumas adaptações para situações especiais como Carvalho (1994), para igrejas, Eyring para locais onde as superfícies têm todas coeficientes de



absorção sonora semelhantes, Millington-Sette para locais onde haja diferenças significativas entre os coeficientes de absorção, entre outras.

No presente trabalho, para o cálculo do tempo de reverberação utiliza-se a fórmula de Sabine, visto ser a mais usada na especialidade.

$$TR = \frac{0,16.V}{A} \quad (2.13)$$

Com: TR - Tempo de reverberação (s);

V - Volume do compartimento (m<sup>3</sup>);

A - Absorção sonora equivalente (m<sup>2</sup>);

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i$$

$\alpha$  - Coeficiente de absorção sonora do material (sem unidades);

S – Superfície do material (m<sup>2</sup>).

A constante (K) de 0,16 pode ser calculada segundo a expressão (2.14), onde  $c$  representa a celeridade do ar em m/s e depende da temperatura, como apresentado anteriormente (capítulo 2.1). O constante K assume o valor de 0,16 para a temperatura de 24 °C, já para o valor de 13 °C, obtém-se o valor de 0,163.

$$\frac{24 \ln 10}{c} = K \quad (2.14)$$

A análise do TR reveste-se de grande importância devido aos seus efeitos, podendo estes serem positivos ou negativos numa sala para música, nomeadamente:

- Aumenta o nível sonoro, por acréscimo do som reflectido ao som directo – Efeito positivo;
- Mascara os sons directos, por sobreposição dos sons reflectidos – efeito negativo na maioria das situações.

No caso das salas de música, o tempo de reverberação tem de ser ligeiramente superior ao das salas para a palavra. Dentro dos vários estilos de música e períodos musicais são definidos diferentes tempos de reverberação como ideais (Fig. 2.16), tendo os valores mais baixos para a ópera e os mais elevados para a música sinfónica romântica, já para não falar na maioria da música para órgão.

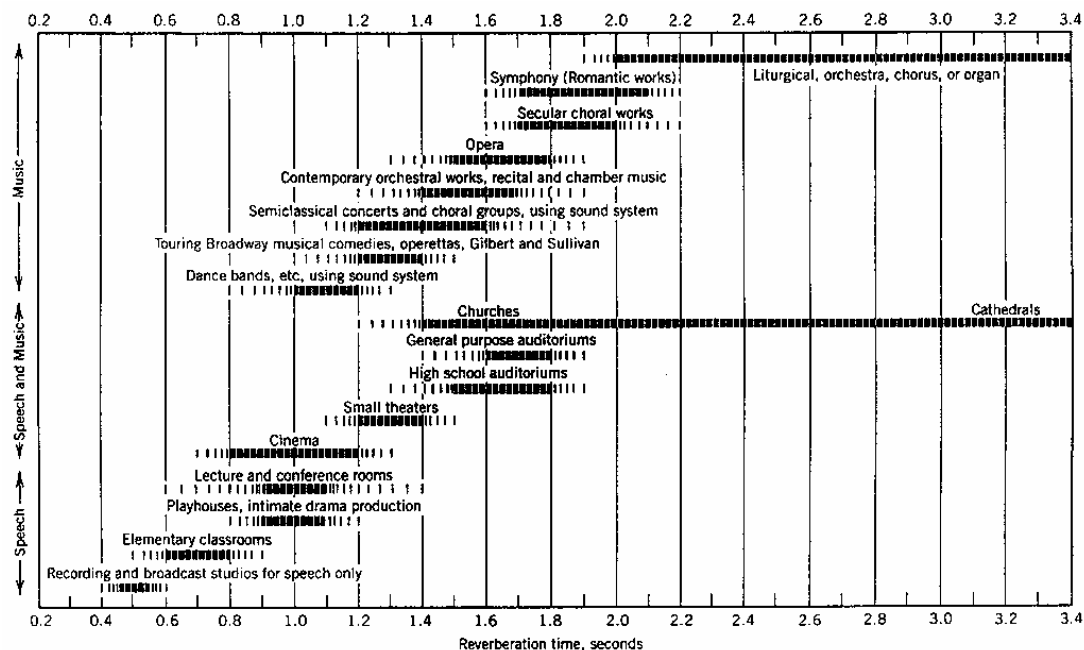


Fig. 2. 16 - Tempos de reverberação ideais em função do uso (p/ 500, 1000 Hz) [Cavanaugh, 1999] [3].

No entanto, nem só o valor do tempo de reverberação para a gama de frequências médias é que determina uma boa qualidade sonora, interessando também a forma de variação dos valores de TR em função da frequência. Na figura 2.17 é apresentado o diagrama dando as formas de variação, do tempo de reverberação para as várias frequências, consideradas mais adequadas [6].

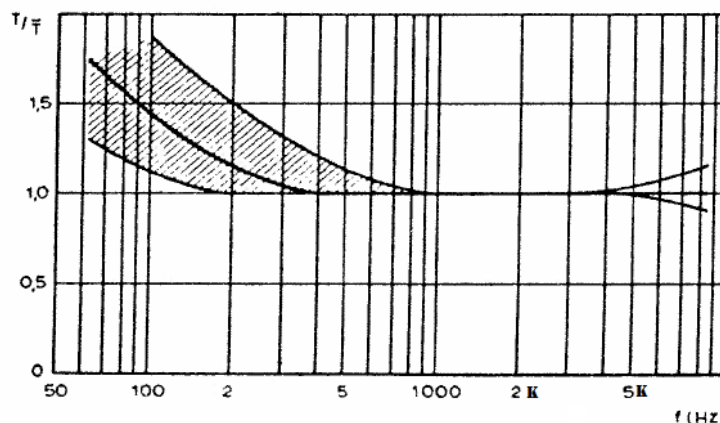


Fig. 2. 17 - Tempo de reverberação ideal numa sala para música para as diferentes frequências [6].

A “vida” de uma sala depende essencialmente da conjugação dos tempos de reverberação para as altas e médias frequências, denotando assim a importância do conhecimento do diagrama da figura 2.17. Uma sala com pouca reverberação nas baixas frequências continuará a ser uma sala com “vida”. O facto de absorver mais nas frequências graves está associado ao “calor” da sala, outra das características subjectivas associadas ao tempo de reverberação das diferentes frequências.

Esta característica está associada à relação entre o tempo de reverberação nas baixas frequências e o tempo de reverberação nas médias. Utilizando materiais absorventes nas baixas frequências pode, por isso, alterar o “calor” de uma sala para música.

## 2.4. REFLEXÕES E GEOMETRIA DO ESPAÇO

Quando uma onda encontra um obstáculo de grandes dimensões relativamente ao seu comprimento de onda, como no caso de uma parede plana e rígida, a onda é reflectida (Fig. 2.18).

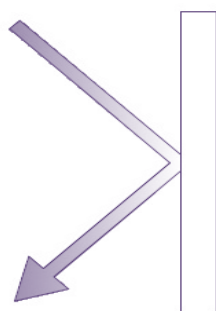


Fig. 2. 18 - Exemplo de uma onda reflectida ao incidir numa parede plana e rígida [43].

Numa sala existe som de dois tipos: som directo e reverberado. É considerado som directo, todo aquele que se propaga em campo livre, enquanto o som reverberante é o som equivalente ao campo reverberante (proveniente de reflexões). O equilíbrio entre estes distingue uma boa sala de uma má sala para música.

Quando se está próximo de um instrumentista, é possível ouvir o som exactamente como é produzido, o que se ouve é basicamente som directo. À medida que o ouvinte se afasta do instrumento, o som ouvido deixa de ser só o directo, contendo também som as primeiras reflexões e som reverberante (Fig. 2.19).

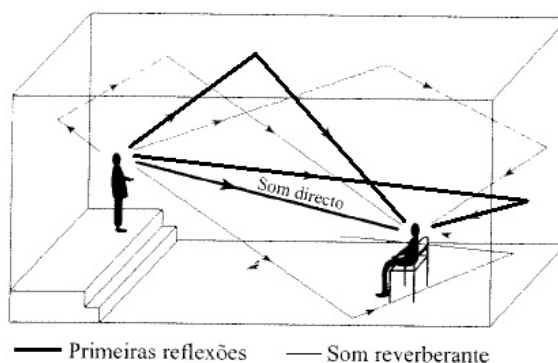


Fig. 2. 19 - Propagação de um som considerando som directo, primeiras reflexões e som reverberante [2].

No caso da música, a qualidade desta pode ser gravemente prejudicada quando existem reflexões e ecos, pois estes mascaram os sons directos. Os ecos resultam de reflexões indesejadas e aumentam o nível sonoro, devido ao prolongamento sofrido pelo som (Fig. 2.20).

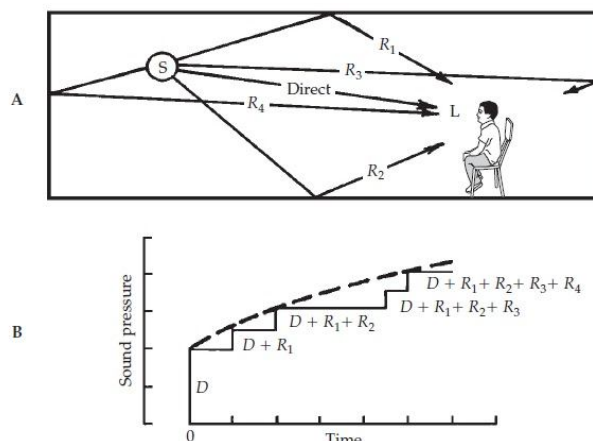


Fig. 2. 20 - Crescimento do nível sonoro provocado pela existência de reflexões indesejáveis [4].

Uma característica subjectiva importante no estudo das dimensões e reflexões de uma sala é a *intimidade*. Considera-se que uma sala tem intimidade acústica, se a música nela executada soa como se fosse executada numa sala pequena, mesmo que esta não o seja.

Para se corrigirem as reflexões indesejadas de ondas sonoras, podem-se utilizar os materiais anteriormente enumerados (porosos, ressoadores e membranas), sendo necessário um estudo prévio para localizar os mesmos na sala em estudo.

## 2.5. RUÍDO DE FUNDO E INCOMODIDADE

O ruído de fundo pode ter origem em várias fontes sonoras (Fig. 2.21), nomeadamente em canalizações, elevadores, equipamentos individuais de aquecimento ou climatização (interiores ao edifício), portas automáticas, transformadores eléctricos, entre outros.

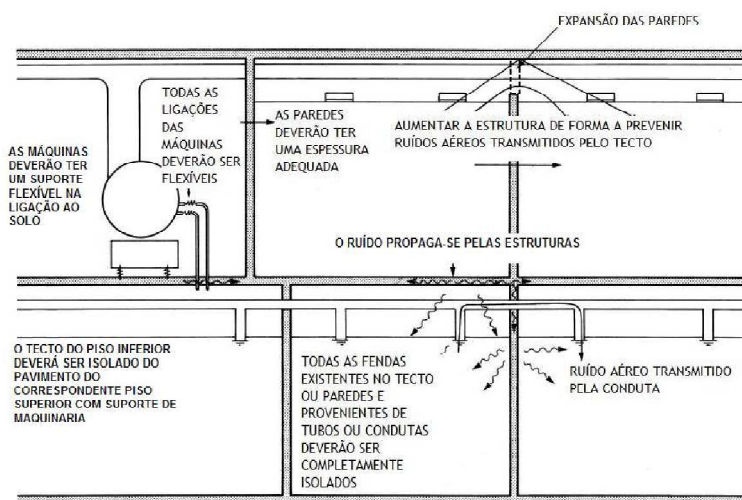


Fig. 2. 21 - Algumas fontes de ruído de fundo existente num edifício comum [43].

A incomodidade de um local interior pode ser avaliada recorrendo a *Curvas de Incomodidade (NC, NR, RC, NCB, etc)*. O uso destas curvas requer a medição dos níveis de pressão sonora nos locais mais ruidosos de cada sala (de preferência à altura dos ouvidos dos ouvintes). De notar que a utilização desta curva está associada a um ruído de fundo estável e contínuo como no caso de sistemas de ar condicionado e não a ruídos de actividade produzidos pelos ocupantes de um determinado local.

As curvas mais usadas para avaliação da incomodidade são a curva *NC (NOISE CRITERION)* e *NR (NOISE RATING)*.

- *NC* – Trata-se de uma curva (Fig. 2.22, esquerda) proposta em 1957 por Leo Baranek (EUA). Esta curva é definida pelos seus níveis de pressão sonora em oito bandas de 1 oitava, entre os 63 Hz e os 8 kHz. A classificação *NC* para uma situação (por exemplo, *NC-60*) significa que nenhum valor dos níveis de pressão medidos, ultrapassa o valor da curva correspondente a *NC-60* sendo esta, tangente ao máximo valor de *L* medido para as respectivas frequências. De referir que se trata de uma curva a cair em desuso, embora de uma forma gradual.
- *NR* – Esta curva (Fig. 2.22, direita) é das mais utilizadas na Europa e foi proposta em 1962 por Kosten & Van Os. Trata-se de uma curva muito semelhante à curva *NC* e foi institucionalizada em 1971 por norma ISO. Esta utiliza bandas de frequências de 32 Hz a 8kHz e os valores são obtidos pelo método da tangente já referido na curva *NC*.

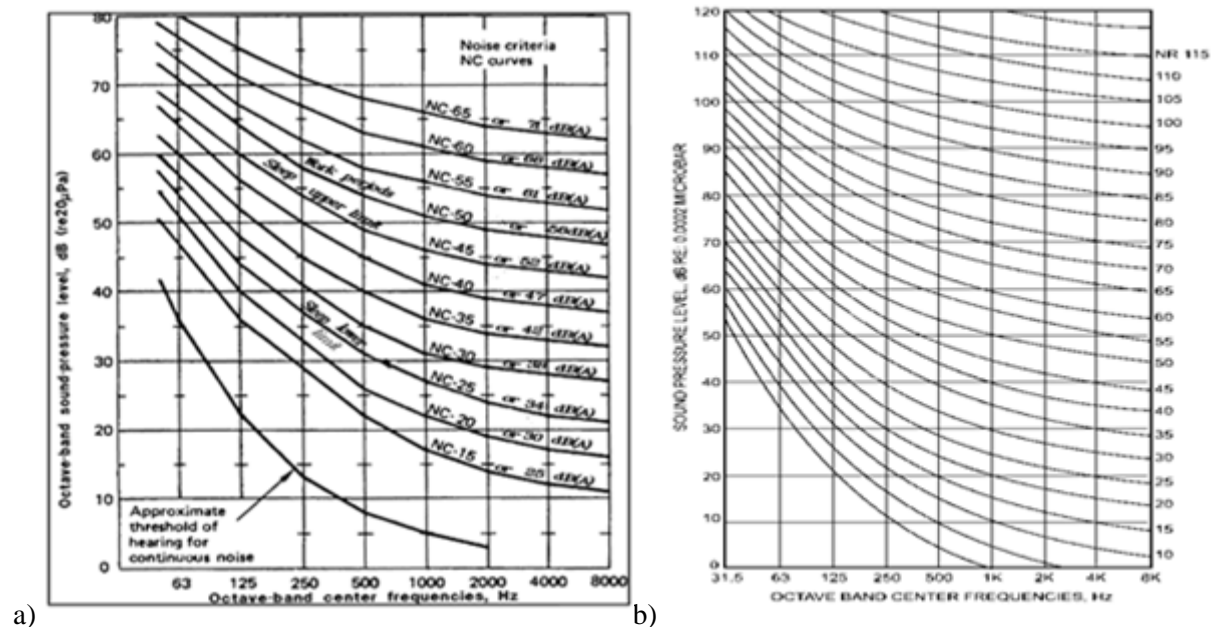


Fig. 2. 22 - Descrição das Curvas *NC* (a) [10] e *NR* (b) [11].

Para avaliação da incomodidade para terceiros, é necessário medir os valores do ruído residual ( $L_{Aeq}$  ruído residual), ruído ambiente medido sem a fonte sonora perturbadora e ruído particular ( $L_{Aeq}$  ruído particular), ruído medido com a fonte perturbadora.

A “diferença” (2.15) entre estes dois valores terá de ser inferior a 3, 4 ou 5, no caso de se tratar de uma medição à noite, ao entardecer e durante o dia respectivamente.

Considera-se como período nocturno das 23 às 7 horas, como período do entardecer das 20 às 23 horas e como período diurno das 7 às 20.

$$(L_{Aeq \text{ ruído particular}} + K_{tonal} + K_{impulsivo}) - L_{Aeq \text{ ruído residual}} \leq 3 \text{ (4 ou 5)} + D \quad (3.15)$$

Sendo,  $D$  parâmetro (com valores de 0 a 4 dBA) escolhido em função da relação ente a duração acumulada de ocorrência de ruído particular e a duração total do período de referência em causa;

$K_{tonal} = 3$  dB(A) se pelo menos uma banda de 1/3 oitava sobressair em pelo menos 5 dB em relação às duas bandas adjacentes, na gama dos 50 Hz aos 8000 Hz e avaliado com filtro A;

$K_{impulsivo} = 3$  dB(A) se  $L_{Aeq}$  medido em resposta *impulsive* -  $L_{Aeq}$  medido em resposta *fast* for superior a 6 dB.

O texto acima exposto só se aplica na totalidade em caso do  $L_{Aeq}$  ruído particular for superior a 27 dB (no interior) e 45 dB (no exterior) *cfr. Artº 13º pt.5* [3].

## 2.6. ISOLAMENTO SONORO

### 2.6.1. CARACTERIZAÇÃO DE SITUAÇÕES

Tratar de um isolamento sonoro é admitir a ocorrência de um processo de transmissão entre um local emissor e um receptor [6]. Convém, por isso, especificar os diferentes tipos de ruído bem como a sua forma de transmissão, para posterior correcção.

Assim podem-se distinguir acções de choque (arrastar móveis, bater de pés no pavimento) associadas a ruídos de percussão (Fig. 2.23 - direita) e aqueles que não implicam contacto directo entre a fonte sonora e os elementos de construção (audição de música de um rádio, conversa entre uma ou mais pessoas), denominados de ruídos aéreos (Fig. 2.23 - esquerda). Esta distinção reveste-se de grande importância, devido ao facto do isolamento sonoro a utilizar depender directamente do tipo de ruído a corrigir.

Ainda, no processo de transmissão entre dois locais, há que distinguir entre a que se verifica directamente (via directa) e a que ocorre por contorno de elementos que estejam interligados (via marginal) (Fig. 2.24). A diferenciação entre estes dois processos de transmissão explica a disparidade entre valores de isolamento de um elemento medido em laboratório (onde não existem transmissões marginais) e os valores que se verificam na realidade, onde podem ocorrer transmissões marginais significativas.

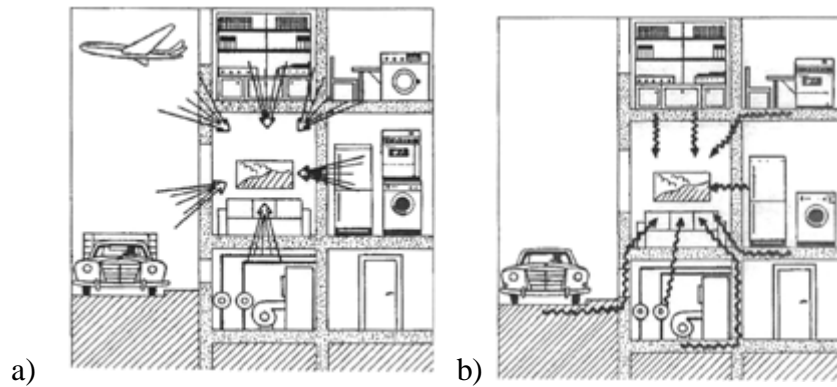


Fig. 2. 23 - Diversas situações de transmissão de ruídos aéreos (a) e de percussão (b) [9].

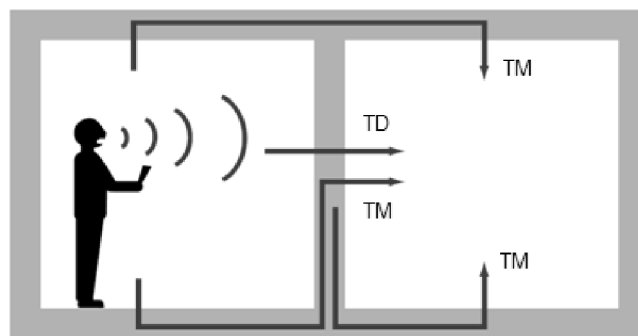


Fig. 2. 24 - Transmissões por via directa (TD) e por via marginal (TM) [43].

## 2.6.2 ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA

Tendo por exemplo duas divisões adjacentes ou sobrepostas, em que numa delas existe uma fonte sonora, que se vai propagar para a outra, há que considerar as possíveis transmissões, directas e marginais, como referido anteriormente, e as que se possam processar através de fendas ou poros no elemento de separação.

A massa e a duplicação física do elemento (Fig. 2.25) são duas particularidades importantes na caracterização do comportamento acústico de um determinado elemento. Em termos gerais, podem ser considerados os dois grandes meios para aumentar o isolamento sonoro a ruídos aéreos.

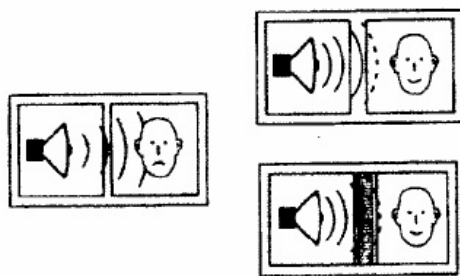


Fig. 2. 25 - Esquemas básicos de funcionamento do isolamento sonoro a ruídos de condução aérea (aumento da massa e duplicação do elemento) [3].

O isolamento sonoro bruto  $D$  (2.16), que representa o isolamento sonoro efectivamente percebido sem qualquer correcção do elemento separador, pode ser determinado *in situ*, a partir de medições do nível de pressão sonora no emissor ( $Le$ ) e no receptor ( $Lr$ ), sendo a diferença o valor do isolamento real do elemento em estudo.

$$D = Le - Lr \text{ (dB)} \quad (2.16)$$

Este valor de  $D$  pode não corresponder totalmente ao valor de isolamento sonoro do elemento construtivo. Este factor deve-se essencialmente a não contabilização das transmissões marginais, sendo o valor do isolamento efectivo ligeiramente superior ao valor de  $D$ .

O quadro seguinte relaciona o valor de isolamento geral de um elemento construtivo, com a audibilidade na divisão receptora.

Quadro 2. 3 - Relação entre o isolamento sonoro efectivo de um elemento de separação e as condições de audibilidade no compartimento receptor [adaptado de 6 e 3].

Isolamento sonoro (dB)	Condições de Audibilidade
30	Entende-se a voz em nível normal, permitindo compreender o que se diz, se bem que ouvido com bastante atenuação.
35	A situação de compreensão anterior só é possível com esforço e atenção por parte de quem escuta.
40	Ouve-se a voz em nível normal, mas não se compreende o que está a ser dito.
45	A voz com um nível normal não é audível na divisão receptora.
50	Os sons da televisão não são incomodativos no receptor.
60	Difícil ouvir até sons muito intensos. Só sons do tipo discoteca serão audíveis.



O isolamento sonoro a ruídos de condução aérea em paredes interiores, é determinado recorrendo a ensaios normalizados (NP EN ISO 140-3 e 4), onde se emite um ruído rosa <sup>1</sup> (cerca de 100 dB). O isolamento medido (bruto) é então corrigido para o tempo de reverberação do compartimento receptor padronizado para  $T_0$  (0,5 seg.) obtendo  $D_{nT}$  (2.17), isolamento padronizado para cada banda de frequência, usando os valores medidos do tempo de reverberação no local receptor ( $T$ ).

$$D_{nT} = L_{emissor} - L_{receptor} + 10 \cdot \log \left( \frac{T}{T_0} \right) \text{ (dB)} \quad (2.17)$$

No caso de se estar a analisar elementos exteriores, o parâmetro usado para quantificar o isolamento sonoro é  $D_{2m,nT,w}$  (até 2008 era utilizado o  $D_{2m,n,w}$ ).

A determinação experimental deste parâmetro (2.18) é feita através da medição dos níveis médios de pressão sonora no exterior, medidos a 2 m da fachada ( $L_{1,2m}$ ) e no interior do edifício ( $L_2$ ), corrigindo-se para um tempo de reverberação  $T_0$  obtendo-se o parâmetro  $D_{2m,nT}$ .

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \cdot \log \left( \frac{T_0}{T_2} \right) \text{ (dB)} \quad (2.18)$$

Ambos os valores resultantes das expressões matemáticas 2.16 e 2.17 são ajustados com a curva NP-717-1 (Fig 2.26), obtendo-se os valores regulamentares de  $D_{nT,w}$  e  $D_{2m,nT,w}$  respectivamente.

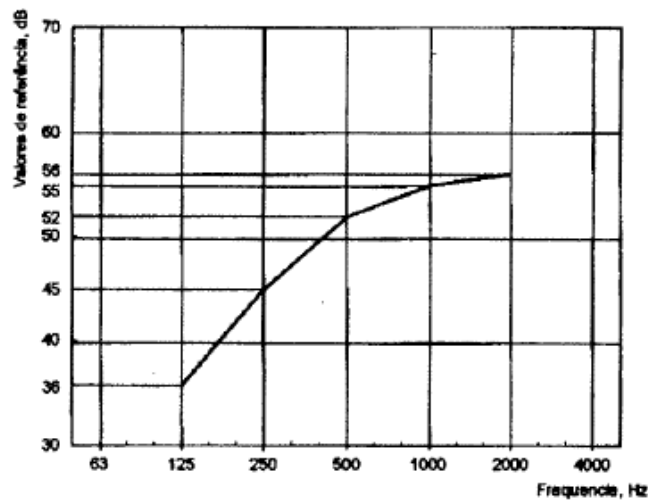


Fig. 2. 26 - Curva de valores de referência para ruídos de condução aérea (para o cálculo de  $D_{nT,w}$  e  $D_{2m,nT,w}$ ) [3].

<sup>1</sup> Ruído rosa: é todo aquele que tem a mesma intensidade em todas as bandas de frequência.

### 2.6.3. ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE PERCUSSÃO

A análise que se segue limita-se a pavimentos. Efectivamente, os choques em elementos de separação verticais são quase nulos, a não ser batimentos de portas, que são facilmente minimizáveis com a aplicação de materiais resilientes nos batentes. Por outro motivo, porque o homem vive sobre o solo e actua mecanicamente sobre este (Fig. 2.27).



Fig. 2. 27 - Situação específica de criação de ruídos de percussão [43].

Por estes factos, os ruídos resultantes de percussão de pavimentos são considerados como os mais incomodativos e que dão lugar a mais reclamações por parte das pessoas afectadas.

Para corrigir os ruídos de percussão, actuar na massa do elemento construtivo não tem grande efeito na propagação do ruído. A maneira mais eficaz para melhorar o isolamento nestes casos é actuar sobre os revestimentos das superfícies, tornando-os mais resilientes, ou sobre a continuidade dos elementos, cortando-os, reduzindo a capacidade de propagação dos estímulos (Fig. 2.28).

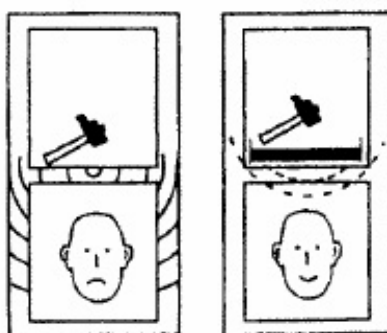


Fig. 2. 28 - Esquema de funcionamento do isolamento sonoro a ruídos de percussão [3].

Para se obter valores de isolamento sonoro a ruídos de percussão de uma laje podem-se utilizar duas metodologias:

- Em laboratório (sem presença das transmissões marginais);

- *in situ* (com presença de transmissões marginais).

Devido à dificuldade de enquadrar em tipologias bem definidas as diversas acções de percussão a que estão sujeitos os pavimentos, é necessário recorrer a ensaios sob a acção de uma percussão normalizada (NP EN ISO 140-6 e 7). Evidencie-se que tal não pretende reproduzir qualquer situação real, mas apenas provocar ruído suficiente e normalizado nos compartimentos receptores, que permita a obtenção de valores de confiança.

O ruído resultante das vibrações internas provocadas pelo ensaio normalizado permite avaliar unicamente o ruído no compartimento inferior ( $L_i$ ) e daí é possível apurar o índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão, quando medido *in situ*, padronizado  $L'nT$  (2.19).

$$L'nT = L_i - 10 \cdot \log\left(\frac{T}{T_0}\right) \quad (2.19)$$

Onde,  $T_0 = 0,5$  seg;

$T$  = tempo de reverberação no compartimento receptor.

Importa referir que os valores obtidos nos ensaios estão sujeitos a um ajuste para se tornarem valores regulamentares, como acontece para os ruídos aéreos. No caso dos ruídos de percussão a curva de referência (Fig 2.29) permite obter o valor de  $L'nT, w$ , valor este ajustado a partir de  $L'nT$ .

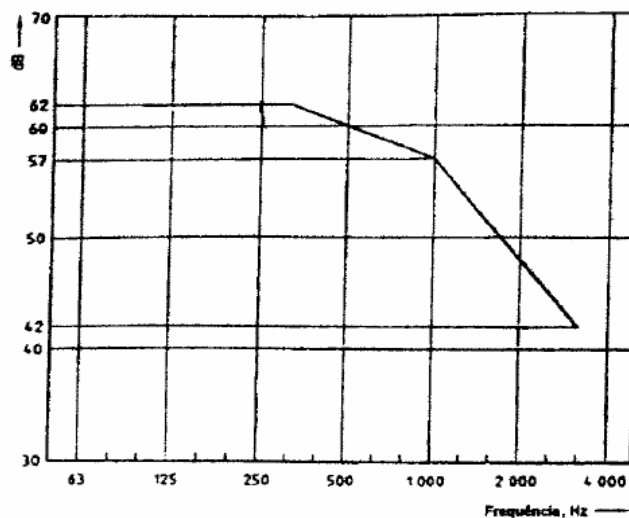


Fig. 2. 29 - Curva de valores de referência para ruídos de percussão (para o cálculo de  $L'nT, w$ ) [3].

Os valores de  $L'nT, w$  referem-se a valores em terço de oitava, embora na unidade tal indicação não apareça usando-se apenas o dB. É necessário deduzir 5 dB ao valor de  $L'nT, w$ , no caso de se utilizar medições em 1/1 oitava, para se obter o valor correcto em 1/3 de oitava.



# 3

## ACÚSTICA DE SALAS DE ENSAIO

Alguns estudos apresentados em encontros *Acoustical Society of America* [53] mostram a preocupação com as qualidades acústicas das salas de ensaio, bem como, com a insonorização de espaços como estúdios de gravação. Actualmente estas preocupações acústicas começam a ganhar importância no seio da população em geral. Para existir evolução, neste caso a nível técnico, de reportório e até qualitativo, é necessário reunir todas as condições ideais e possíveis. Para isso, é importante dotar as salas de ensaio para música de características acústicas adequadas às actividades aí desenvolvidas.

Seguidamente apresentam-se e descrevem-se dois estudos sobre a qualidade interior de salas de ensaio, desenvolvidos e apresentados no 159º encontro da ASA, que decorreu entre os dias 19 e 23 de Abril de 2010 em Baltimore, Maryland, Estados Unidos da América.

Um dos estudos apresentados, mostra a preocupação em perceber as necessidades e condições especiais, de um maestro de grupos corais para a sua sala de ensaio. Este estudo inclui algumas medições acústicas, opiniões e comentários dos cantores que ensaiam nos espaços analisados. Jeremy Manternach foi quem o desenvolveu e intitulou de *Acoustical considerations for vocal music rehearsal rooms: A choir director's perspective*, sendo que a sua apresentação decorreu no dia 21 de Abril de 2010, no encontro anteriormente referido.

Este estudo, numa fase inicial, inquiriu 33 maestros com o objectivo de perceber as características acústicas, que uma sala para este fim deve possuir. Numa fase intermédia foram analisadas três salas de ensaio de grupos corais, 2 salas de ensaio de escolas secundárias e uma sala de ensaio de um colégio, recolhendo por fim as opiniões dos maestros responsáveis por estas salas e respectivos coros. Dos 33 maestros inquiridos, 45 % eram do sexo feminino e 55 % do sexo masculino, tendo a maioria destes idades compreendidas entre 29 e 35 anos. Questionados sobre as características a nível do piso das salas, 12 responderam que preferiam patamares (risers) (Fig. 3.1) fixos no chão, 13 preferiam patamares removíveis sendo que apenas 7 preferiam piso liso.



Fig. 3. 1 - Exemplo de patamares (risers) para grupos corais [54].

Para se ter uma noção das preferências, a nível do tempo de reverberação da sala ideal, de cada maestro, atribuíram-se níveis de 1 para salas muito secas, 4 para salas moderadas e 7 para salas muito reverberantes, sendo que o nível 7 corresponde a tempos de reverberação de 1,2 s aproximadamente e o nível de 1 corresponde a tempos de reverberação quase nulos.

Depois de questionados sobre as suas preferências para os TR das salas, 33 (94%) responderam valores entre 3 e 5, concluindo-se assim que uma sala ideal deverá ter condições de reverberação moderadas. No entanto, 25 dos maestros (76%) gostaria de ter uma sala com níveis de reverberação ajustáveis.

Apresentando agora os casos analisados neste estudo, tem-se como primeiro caso uma sala de ensaio construída no ano de 1997, (Fig. 3.2), com pé direito de aproximadamente 4,9 m e tempo de reverberação característico entre 0,9 s e 1 s. Sendo que o nível de reverberação desejado pelo maestro seria o nível 5 (0,8 s), tornando-a assim um pouco mais seca, estando esta actualmente no nível 6. A sala possui painéis difusores alternados no tecto como se vê na figura 3.2, patamares (risers) removíveis e as suas paredes não são paralelas tendo algumas pequenas zonas de absorção localizadas.

Quando questionado sobre os pontos fortes da sua sala, o maestro referiu algumas superfícies duras, o TR que a torna relativamente viva e os painéis referidos anteriormente, não tendo apontado nenhum ponto fraco.

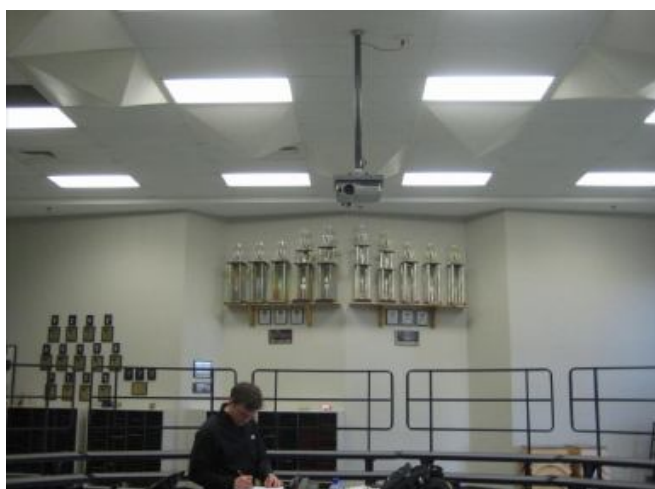


Fig. 3. 2 - Sala de ensaio do caso 1, vista do maestro [55].

No segundo caso estudado, analisou-se uma sala de ensaio construída em 1954 (Fig 3.3), com alturas entre 2,50 m e 3,50 m aproximadamente, tendo como tempo de reverberação característico 0,5 s. Nesta sala existem patamares (risers) fixos, alcatifa na totalidade do piso e painéis perfurados e pintados à posterior, em todo o tecto que não se sabe se são painéis acústicos ou meramente estéticos (Fig. 3.4).

O valor do tempo de reverberação actual da sala corresponde ao nível 3, desejando o maestro desta sala, que esta pertencesse ao nível 5, correspondente a tempos de reverberação de 0,8 s. Os pontos fortes apresentados para esta sala foram: o grande espaço interior, escritórios disponíveis e acesso a material multimédia. Sendo apontado como pontos fracos a ausência de janelas, o facto do maestro não se poder afastar quanto desejado para ouvir melhor o seu coro e a presença de patamares fixos, que o impossibilitam de mudar a disposição dos cantores na sala.



Fig. 3. 3 - Sala de ensaio do caso 2, vista do maestro [55].



Fig. 3. 4 – Painéis perfurados existentes no tecto que foram pintados posteriormente [55].

Como último caso foi analisada uma sala de ensaio (Fig. 3.5), de um colégio, com 5,50 m de pé direito médio com um tempo de reverberação característico de 2,4 s. Para obter este tempo de reverberação, o maestro colocou caixas de papelão à volta de toda a sala como se pode ver nas figuras 3.5 e 3.6. Na ausência destas caixas, mais de 200, o tempo de reverberação era de 3,4 s, exageradamente alto para salas de ensaio para coros, como ficou claro nos inquéritos iniciais deste estudo. Era preferência do maestro mudar a reverberação da sala para o nível 4 (0,6 s), sendo esta ajustável conforme as necessidades.

Como pontos fortes o maestro, elegeu o espaço, flexibilidade de colocação dos músicos e o facto de a sala ser muito viva dar confiança aos cantores. Como pontos fracos este enumerou, a excessiva reverberação, que mascara os problemas do coro e dificulta a comunicação, e o tempo que teve que demorar para se adaptar ao tipo de reverberação da sala.

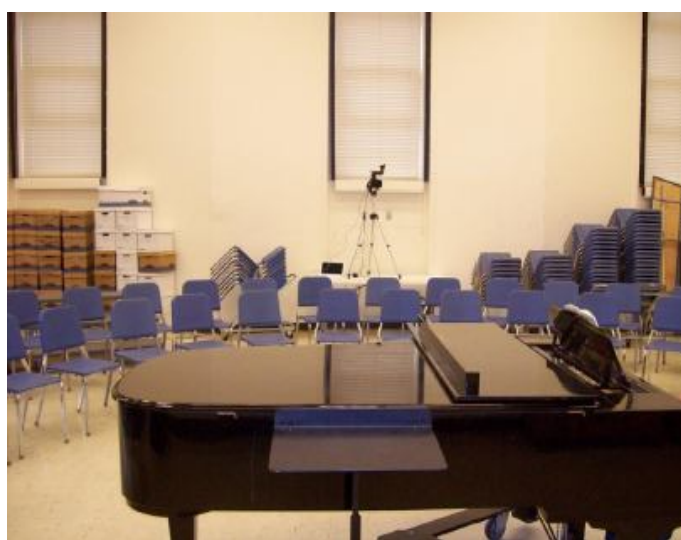


Fig. 3. 5 - Sala de ensaio do caso 3, vista do maestro [55].



Fig. 3. 6 – Pormenor das caixas colocadas à volta da sala para baixar o tempo de reverberação [55].



O segundo trabalho analisado tinha como título, *Acoustical compromises: Working with a design team for maximum isolation at minimal costs in high school music facilities*, foi apresentado, no 159º encontro da ASA no dia 21 de Abril de 2010, e desenvolvido por Pamela J. Harght. Poucas foram as informações fornecidas pela autora, no entanto, foram partilhados alguns valores para salas de ensaio de bandas, como no caso da sala de ensaio da B.M.M.P..

Neste trabalho analisaram-se os obstáculos existentes para criar um espaço que respondas às várias necessidades acústicas, numa escola para música com instalações que incluem salas de ensino de bandas, coros, ensembles de percussão, prática individual de música e salas de teatro [39].

Segundo a autora, muitas das salas analisadas possuíam tempos de reverberação muito baixos, apresentando valores de 0,6 segundos para as médias frequências, valores estes que tendem a manter a sala “morta”. Estas salas necessitam assim de correcções acústicas para responder aos anseios dos maestros, que preferem tempos de reverberação próximos de 1 s. O tempo de reverberação de 1 s, permite ao maestro uma percepção clara dos erros que o seu grupo cometa e reduz o impacto das lesões auditivas em grupos de grande dimensão. Para os maestros inquiridos, um TR de 1 s permite que a sala tenha um bom comportamento tanto para ensaios de bandas e/ou *ensembles* como para ensaios de grupos corais.

Outro estudo apresentado no 159º encontro da ASA, no dia 21 de Abril de 2010, intitulado como *The acoustical balancing act for music rehearsal spaces in school* e desenvolvido por David L. Adams. Não foi possível obter mais informações sobre este trabalho ficando assim o seu objectivo em traços gerais. Neste estudo o autor preocupou-se com os critérios necessários a ter em conta na concepção de espaços de ensaio de música, especialmente quando um único espaço precisa de cumprir diferentes necessidades, para uma banda, para uma orquestra e coro respectivamente. Sendo também apresentados casos para ilustrar o Bom, o Mau e o Feio no que diz respeito a espaços de ensaio de música em escolas [40].

Como conclusões destes estudos, pode-se afirmar que o ideal seria ter salas com tempos de reverberação ajustáveis, conforme as necessidades, podendo assim, simular o desempenho acústico do próximo espaço onde os respectivos grupos iriam actuar. Outra razão é o fácil ajuste às preferências de um novo maestro, a nível de reverberação evitando assim a necessidade de intervenções mais demoradas para estes ajustes.

O tempo de reverberação é uma característica importantíssima numa sala de ensaio para música, sendo que uma sala com mais vida dá mais confiança aos cantores, e uma sala com menos vida, mais seca, aumenta a clareza e a precisão destes. Neste aspecto, pode-se tirar as mesmas conclusões para salas de ensaio para bandas filarmónicas e agrupamentos deste género.

No 159º encontro da ASA, foram apresentados também alguns estudos que mostram a preocupação com o isolamento sonoro de salas como estúdios de gravação. Este é o problema actual do centro comercial STOP, falta de isolamento sonoro, que tem provocado incomodidade nos vizinhos e más condições de trabalho, quando existe mais de uma banda a ensaiar ao mesmo tempo.

Com o objectivo de sensibilizar para a importância de estudos acústicos na fase inicial do projecto, evitando problemas na reabilitação depois da obra finalizada, Anthony K. Hoover desenvolveu um trabalho onde demonstrou os problemas e as soluções a tomar neste tipo de situações [41]. Este trabalho foi intitulado de *Mixing studio isolation* e foi apresentado, no encontro anteriormente referenciado, no dia 22 de Abril de 2010.

Os estúdios analisados no trabalho *Mixing studio isolation*, foram os estúdios da MTech representados pelas letras A, B e C (Fig 3.7). Estes foram concebidos para serem totalmente “free-standing” a nível de piso, ou seja, sem contacto directo com os elementos estruturais, sendo todo o peso descarregado em apoios do tipo “*Super W pads*” (Fig. 3.8). As salas foram isoladas com elementos à base de lã de rocha nas paredes (Fig. 3.9) e tectos falsos (Fig.3.10). No entanto as soluções propostas não foram tão eficazes quanto o esperado.

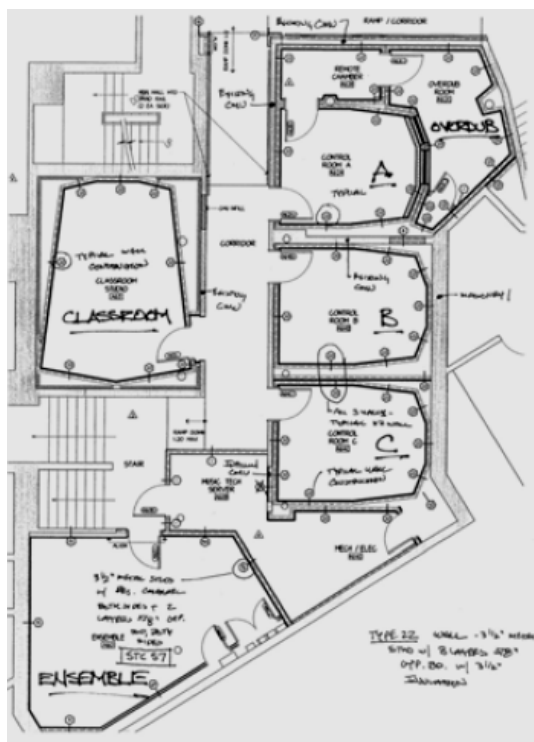


Fig. 3. 7 - Planta dos estúdios MTech A, B e C [56].

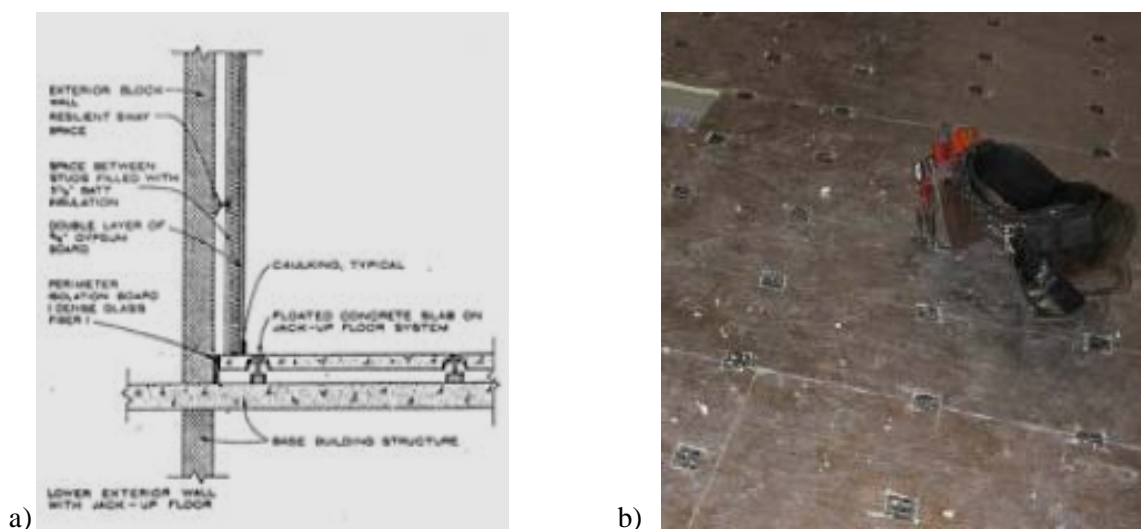


Fig. 3. 8 - a) Esquema dos apoios (*Super W pads*) evitando o contacto do piso com os elementos estruturais; b) colocação dos apoios (*Super W pads*) no piso do estúdio [56].



Fig. 3. 9 - Isolamento sonoro das paredes com elementos à base de lã de rocha [56].



Fig. 3. 10 - Isolamento sonoro do tecto com tectos falsos [56].

Depois das obras finalizadas (Fig. 3.11), foram apontados alguns problemas. Ouviam-se os grupos de percussão quando ensaiavam na sala “*ENSEMBLE*” (Fig. 3.7), o sistema de AVAC era mais ruidoso do que o esperado em alguns estúdios, o bater dos pés e o arrastar cadeiras eram audíveis em todos os estúdios, levantando algumas questões relacionadas com a qualidade de execução do isolamento sonoro dos estúdios.

Investigações visuais mostraram algumas lacunas nas salas que tinham sofrido obras para isolamento sonoro, não identificando outros problemas óbvios.



Fig. 3. 11 - Aspecto final dos estúdios de gravação da MTech [56].

Realizaram-se alguns “ensaios” subjectivos para confirmar os problemas anteriormente identificados. Assim, colocou-se um grupo de percussão na sala, representada com a palavra *ENSEMBLE* na figura 3.7, e colocou-se um ouvinte na sala C com as costas viradas para a parede mais próxima da sala onde estava o grupo de percussão. Este teve a sensação que o som ouvido era proveniente da parede da sala B. Quando este ouvinte virou as costas para a parede da sala B, o som parecia vir da parede mais próxima da sala onde estava o grupo de percussão. Depois destas duas impressões colocou o ouvido junto ao piso e aí, sentiu que o volume do som era maior do que quando se encontrava de pé virado para umas das paredes.

Estas impressões combinam-se para indicar que o som audível é transmitido principalmente pelos elementos estruturais, irradiando a partir das diversas superfícies da sala, especialmente pelo piso.

Os ensaios foram repetidos, depois de colocar alguns músicos a tocar em patamares individualmente isolados. Com isto foi possível notar uma redução significativa nos sons provocados por cadeiras, pelos passos dos próprios músicos e pela bateria/percussão, mantendo-se inalteráveis os ruídos de condução aérea.

Levando a concluir que os suportes colocados (*Super W pads*), não estariam a funcionar como era desejado, havendo uma grande transmissão de ruídos de percussão.

As conclusões deste estudo vão de encontro ao mau funcionamento dos apoios referidos anteriormente, estando a funcionar como apoios rígidos servindo de ligação, para as vibrações, entre o piso e os elementos estruturais. Outras da conclusões retiradas neste trabalho, foi o facto de o isolamento sonoro a ruídos de percussão ser em geral insuficiente e que novas adaptações para esta construção dificilmente levariam a melhores resultados, a nível do isolamento sonoro global. Percebendo assim, o quanto é importante o correcto dimensionamento na fase de projecto deste tipo de soluções para o isolamento acústico de salas de ensaio para musica e estúdios de gravação. No caso de essas soluções não serem projectadas correctamente na fase inicial da obra, dificilmente serão colmatadas da maneira desejada inicialmente, não alcançando assim os valores ideais e inicialmente pensados para os respectivos espaços.

# 4

## CARACTERIZAÇÃO DOS CASOS EM ESTUDO

### 4.1. SALA DE ENSAIO DA BANDA DE MÚSICA DOS MINEIROS DO PEJÃO

#### 4.1.1. IMPORTÂNCIA SOCIOCULTURAL

Em várias localidades, durante muitos e longos anos, foram aparecendo associações ou colectividades com a finalidade de ensinar a música a todos aqueles que nutriam uma paixão especial por esta arte, encontrando assim também uma alternativa para passar o tempo, enriquecendo-se culturalmente e esquecendo o quotidiano que nem sempre era fácil, na antiguidade.

Uma banda como a Banda de Música dos Mineiros do Pejão (B.M.M.P) não é simplesmente uma instituição onde se ensina e se aprende a ler partituras e a tocar um instrumento musical. A Banda, nome genérico e representativo de todos os agrupamentos deste tipo, é uma escola, não só de desenvolver a cultura mas uma escola para a vida em todos os aspectos. Num mundo onde o individualismo, a superioridade e a falsidade tentam derrotar todos aqueles que estão próximos, num mundo onde as relações humanas e a preocupação mútua estão em crise, é importante afirmar, sem reservas, que estas colectividades musicais são importantíssimas, são necessárias, são até vitais para a modelação de uma personalidade, de uma consciência, de uma maneira mais positiva de ver a vida.

Fazer parte de uma Banda Filarmónica é uma oportunidade de enriquecimento cultural onde se cultiva o espírito de grupo, a solidariedade e a amizade, intensificando-se esta mentalidade nas bandas mais humildes e mais retiradas dos grandes centros urbanos.

Actualmente as bandas funcionam como importantes centros de juventude, onde para além de música se aprendem valores morais e éticos fundamentais a uma boa formação humana. Desta forma, constituem-se também como entidades muito importantes na acção preventiva de alguns males sociais, como alcoolismo e a toxicodependência.

Outro dos papéis de uma Banda Filarmónica na sociedade onde está inserida é a projecção do nome da terra e da sua própria cultura. Da curta experiência que tenho nesta realidade, já foi possível perceber o quanto é importante a Banda fazer chegar a cultura da sua localidade a outros locais. Na B.M.M.P. sempre que se faz a despedida de uma localidade onde se actuou, todos os músicos entoam o Hino dos Mineiros do Pejão (Fig 3.1) e não é de admirar quando se vê na cara de alguns ouvintes a nostalgia dos tempos vividos nessas minas, e a alegria de saberem que existe algo ou alguém que não deixa esse mesmo sentimento morrer.

Futuramente, as bandas desempenharão um papel principal na cultura popular. No entanto isto só será possível com o apoio de entidades governamentais, locais e os “amigos da banda”, pois são eles os



principais motores de desenvolvimento destas colectividades. Só com estas ajudas será possível apostar em novas condições de trabalho nos ensaios, nomeadamente reabilitações das suas sedes e salas de ensaio, novos instrumentos, novas fardas e novas escolas para possibilitar uma melhor formação dos jovens da terra.

Importa referir que as bandas, na sua generalidade, são e serão sempre uma entidade formadora de músicos e homens bem como uma catapulta em termos artísticos. Os grandes músicos, na maioria, do nosso país aprenderam as suas primeiras notas na banda da sua terra. Assim é importante não deixar morrer tais colectividades, incentivando desta forma papel preponderante destas na divulgação e desenvolvimento da cultura nas diversas localidades.



Fig. 3. 1 - Monumento onde são imortalizados os Mineiros do Pejão, inaugurado a 24 de Junho de 1996 em Pedorido, autoria desconhecida [37].

#### 4.1.2. NOTA HISTÓRICA

Em 1933, dirigido pelo Padre Francisco Nicolau Moreira e auxiliado pelo músico Nicolau Barbosa, nasce o Grupo Sacro Musical de Pedorido (Tuna Musical), freguesia incluída na zona carbonífera do Couto Mineiro do Pejão [17], concelho de Castelo de Paiva.

Em 1947 Jean Tyssen, um grande apaixonado pela música e proprietário da Empresa Carbonífera do Douro, apercebendo-se de que naquela zona havia grande vocação para a música, logo munuiu a Tuna de todo o instrumental necessário e escolas para formar os novos músicos que iriam servir futuramente a Banda.

Na II Festa da Família Pejão, a 19 de Setembro de 1948 [18], os alunos destas escolas e elementos da Tuna actuam pela primeira vez colaborando assim com este evento. Todo o programa foi dirigido pelo então Director Artístico, Capitão Lourenço Alves Ribeiro, Maestro da Banda de Música da GNR e

pelos professores das escolas de música, Alberto da Costa Santos, Alberto Ribeiro Gomes e Tertuliano Monteiro.

Pela inauguração da Igreja de Pedorido, a 14 de Agosto de 1949 [18], este mesmo grupo já mais consolidado e dirigido agora pelo Professor Tertuliano Monteiro, dá o seu primeiro concerto público. Estava assim criada a Banda Musical do Pejão, que mais tarde passa a denominar-se Banda de Música dos Mineiros do Pejão (B.M.M.P.), cuja reputação ultrapassou as fronteiras de Castelo de Paiva e que, por exemplo em 1962, obteve dois primeiros prémios no I Grande Concurso Nacional de Bandas e Filarmónicas, organizado pela então FNAT (actualmente denominada INATEL [45]).

Com o encerramento das minas do Pejão em 1994 [17], a Banda viu-se obrigada a mudar de sala de ensaio, deixando a então disponibilizada pela empresa carbonífera, passando a ocupar a actual localizada na foz do Rio Arda, na freguesia de Pedorido. Actualmente a B.M.M.P. conta com cerca de 70 elementos, sob a regência do Maestro Francisco Manuel Sousa Moreira, oriundo das escolas da Banda. Mantêm-se em funcionamento cinco escolas de música situadas na área do Couto Mineiro, distribuídas por Pedorido, Póvoa, Oliveira do Arda, Serradelo e Pé-de-Moura (Castelo de Paiva) e Canedo (Santa Maria da Feira). Escolas que contam com dezenas de alunos, todas elas orientadas por monitores de reconhecida competência artística e pedagógica.

Nos anos de 2005 e 2006 participou nos I e II Concurso Nacional de bandas Filarmónicas da Cidade de Aveiro obtendo o 3º e 2º lugar, respectivamente.

Muito embora desde a sua fundação, a Banda de Música dos Mineiros do Pejão tenha participado na celebração de missas e outras cerimónias religiosas, não lhe era conhecido qualquer grupo coral. Toda a Banda tomava parte nessas cerimónias, até que com a fundação da Associação Cultural do Couto Mineiro do Pejão, foi também criado um Grupo Coral que participa na celebração de missas, casamentos e festivais.

Actualmente a Banda de Música dos Mineiros do Pejão continua activa e dinâmica, levando o nome do Pejão a diversas localidades do Norte a Sul do país, aos emigrantes e habitantes de Espanha, actuando em Fabero Del Bierzo, e de França, dando concertos em Montluel e Feyzin, Lyon.

#### 4.1.3. DESCRIÇÃO

O edifício da B.M.M.P. localiza-se na rua da Linha freguesia de Pedorido, concelho de Castelo de Paiva, junto à foz do rio Arda <sup>1</sup> (Fig. 4.1). A sala de ensaio em estudo ocupa a totalidade da parte inferior do edifício (Fig. 4.2 e 4.3), ficando a parte superior para gabinetes de apoio logístico da direcção.

No início do ano corrente (2010), a sala em estudo sofreu uma pequena reabilitação. Esta teve como principal objectivo aumentar o espaço disponível para os músicos e a alteração da disposição dos instrumentos de metal, especialmente trombones e trompetes, e de toda a percussão.

Para tal construíram-se dois patamares (Fig. 4.4) para elevar os instrumentos anteriormente referidos, com o objectivo de diminuir a exposição dos outros instrumentistas às elevadas intensidades sonoras destes instrumentos. Outra alteração sofrida foi a nível do revestimento de paredes e pavimentos, onde

---

<sup>1</sup> Rio Arda - o Rio Arda é um rio de Portugal que nasce em Arouca. No seu percurso pelo município de Arouca passa por Santa Eulália e Várzea e desagua no rio Douro, na freguesia de Pedorido [57].

se revestiu o tecto com aglomerado negro de cortiça e as paredes e o tecto em madeira. As alterações podem ser observadas nas figuras 4.5 e 4.6.

Segundo o maestro da B.M.M.P. Francisco Moreira, “A sala foi alterada porque precisávamos de mais espaço. Era também necessário alterar a disposição dos metais, especialmente trompetes e trombones, e da percussão, no sentido de diminuir a pressão acústica sobre as madeiras, durante os ensaios, tornando o ambiente menos agressivo”.

No que diz respeito à acústica da sala propriamente dita, o maestro refere: “Melhorar a acústica era uma necessidade e uma prioridade. Aqui imperou o empirismo, apesar de termos pedido sugestões a vários “entendidos”. Durante todo o processo falou mais alto o orçamento, muito limitado, para a realização das obras desejadas, mesmo a nível dos materiais disponíveis no mercado para resolver os problemas acústicos”.

Importa salientar que esta reabilitação foi executada sem qualquer tipo de estudo acústico para a colocação dos revestimentos utilizados nem para as suas dimensões e características.

O quadro 4.1. apresenta as principais características da sala de ensaio em estudo, onde são apresentadas as principais diferenças entre o *antes e após* a recente reabilitação.



Fig. 4. 1 - Localização da sala de ensaio da B.M.M.P. [46].





Fig. 4. 2 - Casa de ensaio da Banda de Música dos Mineiros do Pejão [Foto do autor].

Quadro 4. 1 - Características da sala de ensaio da Banda de Música dos Mineiros dos Pejão, antes e após a reabilitação.

<b>Características Gerais</b>		
Designação	Sala de Ensaio da Banda de Música dos Mineiros do Pejão	
Localização	Pedorido / Castelo de Paiva / Aveiro	
Morada	Rua da Linha, 4550-509 Pedorido	
<b>Características Geométricas</b>	<b>Antes da Reabilitação</b>	<b>Após a Reabilitação</b>
Área da Sala	58 m <sup>2</sup>	64 m <sup>2</sup>
Volume da Sala	214 m <sup>3</sup>	228 m <sup>3</sup>
<b>Características das Superfícies</b>		
Paredes	Reboco pintado	Revestidas a madeira até aos 3,20 m de altura, sendo os outros 0,50 m em reboco pintado.
Tecto	Tecido	Revestimento em aglomerado negro de cortiça
Pavimento	Azulejo	Madeira

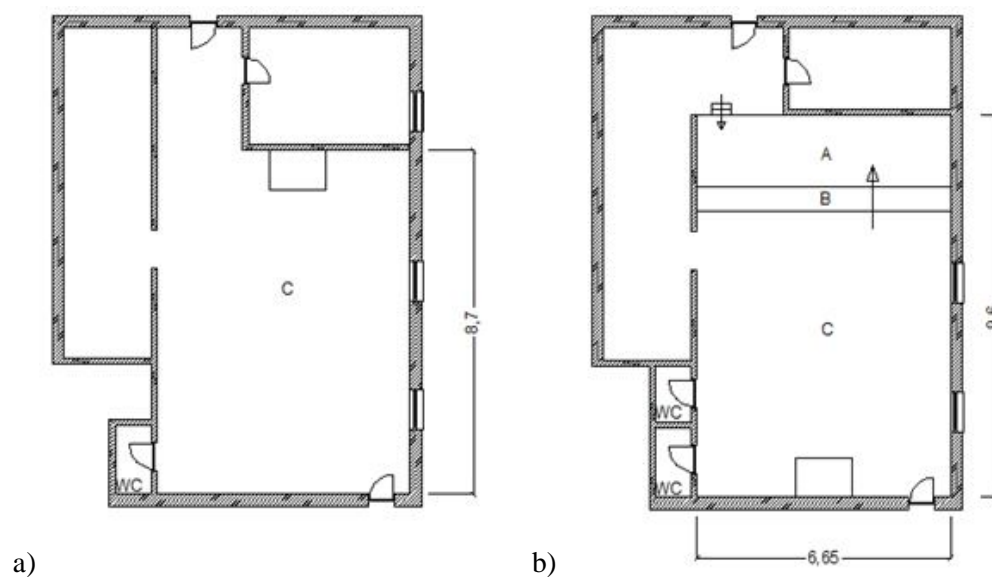


Fig. 4. 3 - Planta da sala de ensaio da B.M.M.P. antes (a) e depois da reabilitação (b) [Planta do autor].

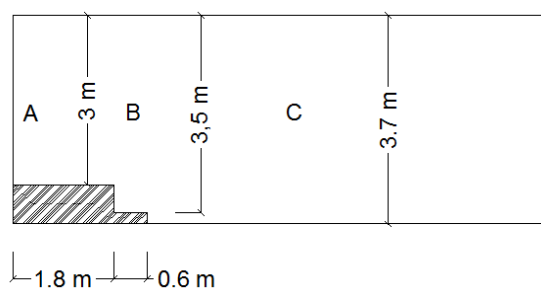


Fig. 4. 4 - Corte exemplificativo dos patamares construídos na reabilitação da sala de ensaio da B.M.M.P [Corte do autor].



Fig. 4. 5 - Sala de ensaio da B.M.M.P. após a reabilitação, onde se podem observar os novos patamares construídos, vista do maestro [Foto do autor].

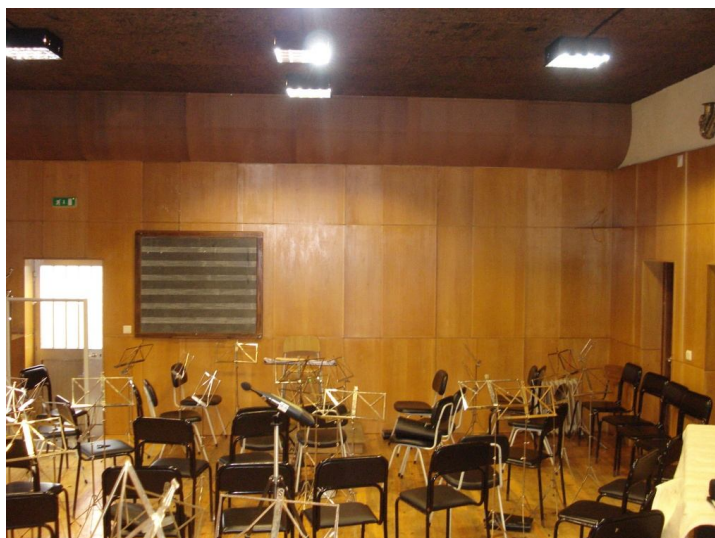


Fig. 4. 6 - Sala de ensaio da B.M.M.P. após a reabilitação, vista dos patamares da percussão [Foto do autor].

## 4.2. CENTRO COMERCIAL STOP

### 4.2.1. IMPORTÂNCIA SOCIOCULTURAL

Com a concorrência das “grandes superfícies”, as pequenas galerias comerciais da cidade do Porto ficaram entregues ao abandono. O centro comercial *STOP* tenta quebrar esse estigma. A solução encontrada foi o aluguer de espaços, antigas lojas a bandas musicais, oferecendo uma nova dinâmica que possibilita a continuidade deste centro comercial.

Este movimento é uma das recentes tendências das bandas que por aí existem e nascem todos os dias, onde se destaca o *STOP*, espaço com maior número de bandas por metro quadrado na cidade do Porto. No *STOP* existem mais de uma vintena de projectos, trabalhos e algumas brincadeiras que nascem de horas e horas de dedicação à música.

Além de inserido num mundo completamente diferente do da B.M.M.P., este centro comercial desempenha funções semelhantes em prol de uma cultura musical, onde centenas de pessoas ocupam o seu tempo livre e partilham experiências. Há uma mistura de gerações, que molda mentalidades gera aprendizagem e evolução, que se reflecte nas músicas que aí se criam.

O espaço é considerado por muitos a sua segunda casa, onde passam a maior parte do tempo e todos se conhecem, desde o café do rés-do-chão à sala de ensaios mais escondida do terceiro andar. O ambiente partilhado entre cerca de 400 músicos é de grande fraternidade e confiança, independentemente do seu gosto musical. Muitos afirmam nunca terem sido roubados, insultados ou algo do género, apesar do seu aspecto exterior degradado e grotesco.

Existe uma causa que os une bem mais forte que as diferenças que os separam, essa causa é a música e a cultura. Muitas foram as bandas que deram os seus primeiros passos numa sala de ensaio do *STOP* e agora são ícones que marcaram uma geração, nomeadamente os *Repórter Estrábico*, *GNR*, *Mesa* entre outros.

Como o *STOP*, existem outros espaços deste género como o caso do edifício ao lado do stand da Chrysler (Fig. 4.7) em Ramalde e o caso das galerias Sirius (Fig. 4.8) na Rua 5 de Outubro, ambos

localizados na cidade do Porto. No entanto, todos carecem de estudos acústicos, para os dotar das propriedades essenciais deste tipo de espaços, qualidade acústica das salas e um bom isolamento sonoro.



Fig. 4. 7- Edifício ao lado do stand da Chrysler em Ramalde, com espaços utilizados como salas de ensaio como no C.C. STOP [Foto do autor].



Fig. 4. 8 – Galerias Sirius na rua 5 de Outubro, junto à Casa da Música, com espaços utilizados como salas de ensaio como no C.C. STOP [Foto do autor].

Em Portugal, o empreendimento mais actual que visou a criação de um espaço como o *STOP*, mas com as condições adequadas para a prática da música, foi a reabilitação do estádio 1º de Maio, antigo estádio do S. C. Braga (Fig. 4.9), aproveitando uma das suas bancadas para a construção de nove estúdios insonorizados. Estes estúdios resultam de um investimento de cerca de 300 mil euros e



abrangem perto de uma centena de músicos desde 2005, criando assim um espaço onde estes possam ensaiar e conviver, sem incomodar os vizinhos.

Várias são as citações de comprovam o anteriormente referido, o facto de estes espaços permitirem uma grande interacção, partilha de conhecimentos que visam a mútua evolução.

*“Para algumas bandas este espaço representa mais do que um simples local onde podem ensaiar sem incomodar os vizinhos.” [26]*

*“Há sempre aquele momento de fazermos a pausa e virmos cá fora fumar um cigarro e interagimos todos uns com os outros e conhecemos as outras bandas, acabando por ajudarmo-nos uns aos outros”[26]*

A criação deste espaço estimulou o aumento da produção musical de Braga e a multiplicação de projectos, levando a grandes elogios por parte das bandas que exploram as salas, actualmente.



Fig. 4. 9 - Estádio 1º de Maio em Braga [58].

#### 4.2.2. NOTA HISTÓRICA

Os espaços comerciais fazem e continuarão a fazer parte da história das cidades portuguesas. Com o passar dos anos, vários são os casos de antigo sucesso que se tornam um amontoado de lojas vazias, com vidros forrados a jornal, onde nos corredores se pode sentir a nostalgia dos seus tempos áureos.

Muitos dos projectos típicos das décadas de 1970 e 1980 revelam-se agora desadequados para as necessidades e gostos dos consumidores, criando um novo conceito, os “centro comerciais fantasma” comuns em todas as cidades das pequenas às grandes [13].

O Centro Comercial Stop, inaugurado em Novembro de 1982 [14], viveu cerca de dez anos pujantes que acabaram com o fecho das duas salas de cinema, iniciando assim uma fase de agonia que o transformaram em mais um centro comercial fantasma da cidade do Porto.

Com o abandono de cerca de 100 lojas, o *STOP* é tomado pelos músicos da Invicta. A primeira banda a ensaiar neste centro comercial dava pelo nome de *Tilt* e acontece nos finais da década de 1980. Seis anos depois é a vez dos conhecidos *Repórter Estrábico* alugarem uma fracção (antiga loja comercial) para poderem ensaiar. Assim se dá o início de uma nova era para este centro comercial considerado,

nos dias que correm, o maior pólo agregador de bandas de música do Porto, com os mais diversos estilos musicais.

Actualmente, não com a azáfama de outros tempos, pode-se dizer que a afluência de pessoas a este espaço continua a ser grande. No entanto, os interesses que movem esta gente são completamente distintos dos interesses das pessoas que outrora ali passavam, para fazerem compras ou desfrutar de momentos de lazer.

Falar no STOP nos dias que correm, é falar de música. O que antes eram lojas, está hoje transformado em pequenas salas de ensaio de bandas, que encontraram neste centro comercial o local perfeito para dar asas à sua imaginação.

Para colmatar os problemas acústicos inerentes a esta utilização, de legalidade discutível, muitos recorrem erradamente a caixas de ovo, sobras de pano e cortinados velhos para melhorar o isolamento sonoro, outros mais exigentes utilizam cortiça e revestimentos de edifícios recolhidos em entulhos.

Mas os músicos, que diariamente entram e saem com os instrumentos às costas, vão continuar a fazer questão de lembrar que a verdadeira Casa da Música é aquela que fica ali na Rua do Heroísmo, continuando incerto o desenvolvimento do triângulo entre senhorios, bandas e Câmara Municipal.

#### 4.2.3. DESCRIÇÃO

O centro comercial STOP, localizado na Rua do Heroísmo nº 329 da freguesia de Bonfim, Porto (Fig. 4.10 e 4.11), encontra-se maioritariamente ocupado por salas de ensaio e bandas que nelas ensaiam.

Trata-se de um edifício com quatro pisos acima, do nível da rua, sendo que o R/C é ocupado com alguns estabelecimentos comerciais, o primeiro, segundo e terceiro estão ocupados maioritariamente por salas de ensaio e o quarto piso é dedicado unicamente à danceteria “Porto à Noite”.

Para estudar as problemáticas deste centro comercial, utilizou-se uma sala como amostra representativa de todas as outras. A sala em questão foi a 319, onde se fizeram os ensaios acústicos necessários utilizando também as salas 318 e 221, para avaliar os elementos de separação. Na figura 4.12 representam-se as plantas do segundo e terceiro piso, fazendo uma pequena referência das salas utilizadas. Importa referir que não se trata de uma planta original nem com uma escala muito fidedigna, dando apenas uma ideia das localizações de salas e corredores.

Todas as salas apresentam uma fachada para o corredor em caixilharia com vidro de 5 mm, com portas simples (sala 318 e 221) e/ou duplas (sala 319) dependendo da sala em questão (Fig. 4.17 e 4.18). Estas portas, por norma, apresentam grelhas na parte inferior, o que prejudica gravemente o isolamento pretendido na actual utilização.

O interior das salas em estudo é muito diferente, ficando o revestimento das superfícies da inteira responsabilidade das pessoas que as exploram. No quadro 4.2 podem-se observar as diferenças significativas nos revestimentos de cada sala, estando umas mais cuidadas que outras e respectivas dimensões comprovadas pelas fotografias das salas em estudo (Fig. 4.14, 4.15 e 4.16).

Actualmente estas salas são ocupadas por grupos musicais com várias “inspirações”. A sala 221 é ocupada por um baterista que actua com os *GNR*, e utiliza esta sala para estudar e fazer os seus trabalhos no mundo da música. Na sala 318, reside uma banda que dá pelo nome de *Warchitect*. Já na sala 319 existem duas bandas em paralelo, que utilizam a sala em horários diferentes, estas são denominadas de *Equaleft* e *MaNtRaProjekt*.



Fig. 4. 10 - Fachada exterior do Centro Comercial STOP, Porto [25].



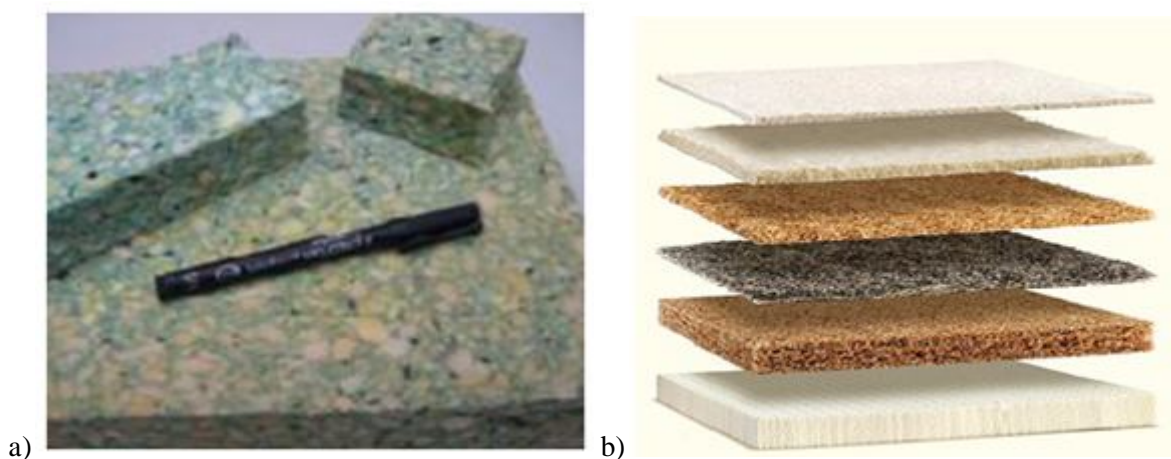
Fig. 4. 11 - Localização do C. C. STOP, Porto [46].



Fig. 4. 12 - Centro Comercial STOP - Planta dos pisos 2 e 3, representando com "X" as salas estudadas 221, 318 e 319 [Planta fornecida por um músico do C.C. STOP].

Quadro 4. 2- Características das salas de ensaio estudadas no centro comercial STOP (Porto), salas 319, 318 e 221.

Características Gerais			
Designação	Centro Comercial STOP		
Localização	Porto		
Morada	Rua do Heroísmo 333 - Bonfim		
Características Geométricas	Sala 221	Sala 318	Sala 319
Área da Sala	32,7 m <sup>2</sup>	18,8 m <sup>2</sup>	26,0 m <sup>2</sup>
Pé direito médio	3,4 m	3,4 m	3,4 m
Volume da Sala	111,3 m <sup>3</sup>	63,9 m <sup>3</sup>	88,2 m <sup>3</sup>
Materiais das Superfícies			
Paredes	Gesso cartonado pintado	Caixas de ovos e reboco à vista	Caixas de ovos, absorvente em fibra de coco e espuma <i>Aglomex</i> (Fig 4.13)
Tecto	Betão à vista	Betão pintado à vista	Agglomerado de cortiça (2 mm) pintado, e betão à vista
Pavimento	Alcatifa fina e lisa	Alcatifa fina e lisa	Alcatifa fina e lisa

Fig. 4. 13 - Espuma *Aglomex* (a) [21] e fibra de coco (b) [22].



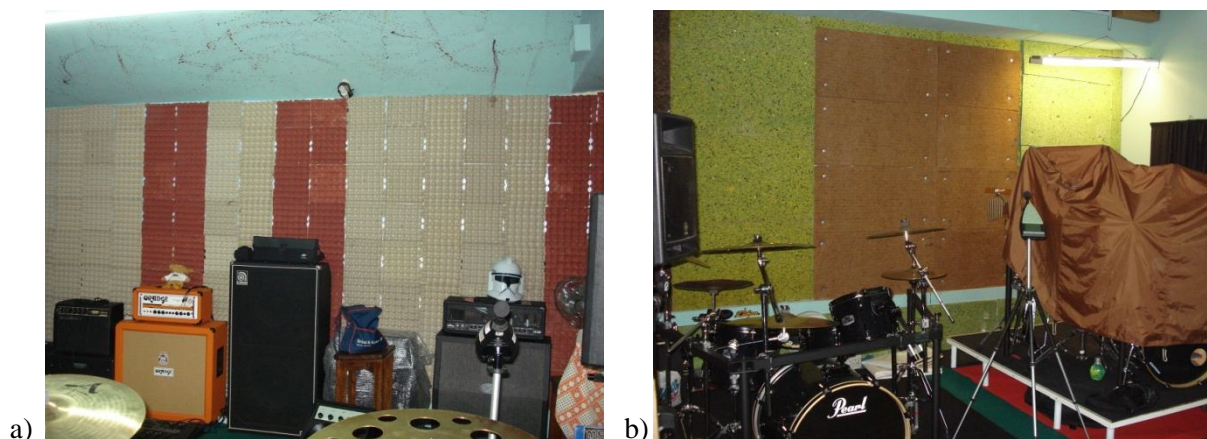


Fig. 4. 14 - C.C. STOP - Sala 319, onde se vê caixas de ovos (a), fibra de coco e espuma *Aglomex* (b) nas paredes, bem como o aglomerado composto de cortiça (2 mm) pintado no tecto (a) e a alcatifa no pavimento (b) [Fotos do autor].



Fig. 4. 15 - C.C. STOP - Sala 318, onde se verifica a colocação de caixas de ovos e betão à vista nas paredes (b), bem como alcatifa no pavimento (a) [Fotos do autor].

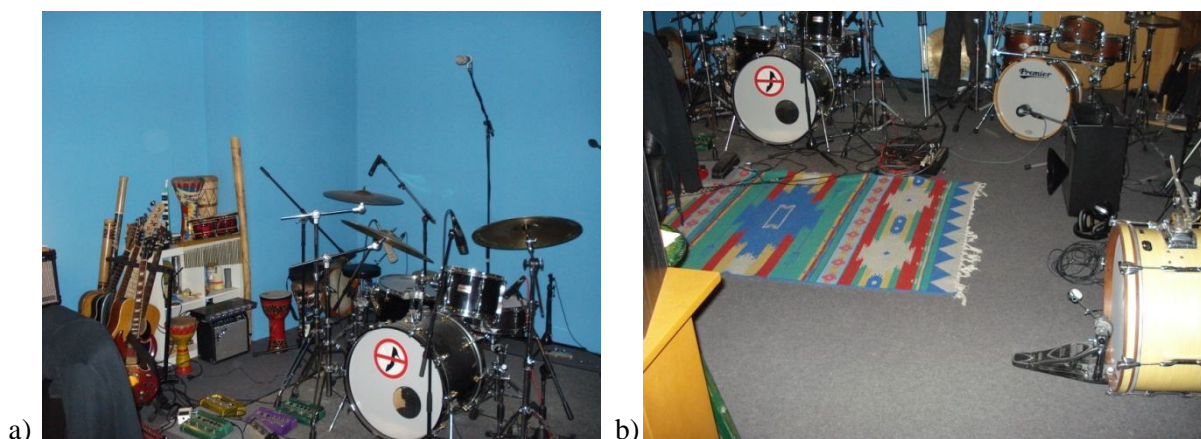


Fig. 4. 16 - C.C. STOP - Sala 221, onde se pode observar o gesso cartonado na parede (a) e a alcatifa colocada no pavimento (b) [Fotos do autor].



Fig. 4. 17 - C.C. STOP – Fachada das salas 319 (lilás) e sala 318 (amarelo) para o corredor, onde se podem observar as grelhas [Foto do autor].



Fig. 4. 18 - C.C. STOP – Fachada da sala 221 para o corredor, onde se podem observar as grelhas [Foto do autor].

# 5

## RESULTADOS

### 5.1. SALA DE ENSAIO DA BANDA DE MÚSICA DOS MINEIROS DO PEJÃO

#### 5.1.1. OBJECTIVO

Este capítulo tem como objectivo apresentar os valores obtidos nas medições, relativamente aos parâmetros arquitectónicos e acústicos, na sala de ensaio da B.M.M.P. bem como relacionar com os valores resultantes dos cálculos de previsão do tempo de reverberação (TR) para sala em questão, percebendo assim até que ponto a reabilitação terá alterado as características desta sala.

#### 5.1.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

##### 5.1.2.1. Generalidades

Desde há muito que são conhecidas as problemáticas associadas às salas para música. Um dos principais factores responsáveis por essas patologias é o tempo de reverberação. Este parâmetro influencia a clareza do discurso musical, “...Ouvir as melhores orquestras do mundo num recinto seco que as abafa e lhes tira qualquer brilho é um desperdício...” (*Sobre o Coliseu de Lisboa - Do artigo de Alexandre Delgado, Jornal “Público” a 01.03.1997*). Assim é fácil perceber o quão importante é a sua análise e correcção.

No caso da sala de ensaios da B.M.M.P, tentou-se estimar o TR antes da reabilitação sofrida. Para a previsão do tempo de reverberação nas frequências de 63 Hz até 4 kHz, recorreu-se à sistematização da fórmula de Sabine (5.1), dada a grande proximidade entre os valores obtidos por esta fórmula e os reais, em campos difusos com coeficientes de absorção sonora médios inferiores a 0,20. [3]

A sala de ensaio em questão foi ensaiada totalmente desocupada, com a excepção de dois operadores, no dia 1 de Abril de 2010. Existiam também na sala alguns instrumentos de percussão, não desprezáveis devido ao seu tamanho, nomeadamente uma bateria, dois tímpanos, um bombo, uma marimba e duas congas. O mobiliário existente na sala era composto por cinquenta cadeiras apenas, utilizadas pelos músicos nos ensaios.

De referir que os valores dos tempos de reverberação apresentados ao longo do trabalho, sem estar referenciados como sendo relativos a uma frequência específica, referem-se a tempos de reverberação resultantes da média dos valores nas bandas de frequências de 500, 1000 e 2000 Hz.

$$TR = \frac{0,16 \times V}{\sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot S_i + \sum_{j=1}^M A_j + m \cdot V} \quad (5.1)$$

Onde,

TR- Tempo de reverberação (s);

V- Volume do compartimento (m<sup>3</sup>);

$\alpha$  - Coeficiente de absorção sonora do material (sem unidades) (quadro 2.12);

S - Superfície real do material (m<sup>2</sup>);

A - Absorção sonora localizada (m<sup>2</sup>) (ver exemplos no quadro 2.13);

m - Absorção sonora do ar (m<sup>-1</sup>) em função da humidade relativa (considerou-se 60%).

#### 5.1.2.2. TR estimado (antes da reabilitação)

Para estimar o tempo de reverberação antes da reabilitação, é impreterível conhecer os constituintes dos elementos confinantes da sala de ensaio e respectivos coeficientes de absorção sonora. Assim resulta o quadro 5.1, onde se representam os coeficientes de absorção sonora característicos das superfícies existentes na sala em estudo e a quantidade (em área, volume ou unidades) pela qual serão afectos.

Quadro 5. 1 - Coeficientes de absorção ( $\alpha$ ) sonora característicos dos elementos confinantes da sala de ensaio da B.M.M.P.

Elemento/Material	Área/Quantidade	Frequência (Hz)					
		125	250	500	1k	2k	4k
Pavimento em betão armado revestido com mosaico [3]	57,9 m <sup>2</sup>	0,010	0,010	0,010	0,010	0,020	0,020
Painéis de contraplacado fino [3]	11,9 m <sup>2</sup>	0,420	0,210	0,100	0,080	0,060	0,060
Paredes rebocadas [3]	32,2 m <sup>2</sup>	0,030	0,030	0,020	0,030	0,040	0,050
Janelas em vidro [15]	4,5 m <sup>2</sup>	0,120	0,080	0,050	0,040	0,030	0,020
Aberturas [adaptado 23]	2,1 m <sup>2</sup>	0,800	0,800	0,800	0,800	0,600	0,600
Cortina leve no tecto [adaptado 15]	63,7 m <sup>2</sup>	0,040	0,040	0,050	0,050	0,100	0,100
Cortina leve nas paredes [15]	43,8 m <sup>2</sup>	0,050	0,060	0,090	0,120	0,180	0,220
Cadeiras [24]	50,0 unid.	0,190	0,230	0,280	0,280	0,280	0,230
Ar HR=60% [4]	222,4 m <sup>3</sup>	0,000	0,000	0,000	0,003	0,004	0,028
Instrumentos [adaptado 23]	7 unid.	0,200	0,500	0,700	1,000	0,800	0,800
Portas em madeira [15]	4,2 m <sup>2</sup>	0,140	0,100	0,080	0,080	0,080	0,080
Pessoas em pé [23]	2 unid.	0,190	0,330	0,440	0,420	0,460	0,370

No quadro 5.2 estão representados os valores calculados para os tempos de reverberação previstos na sala de ensaio da B.M.M.P. antes da reabilitação sofrida, para as bandas de frequência entre 125 Hz e 4000 Hz.

Quadro 5. 2 - Absorções sonoras ( $m^2$ ) das superfícies para cada frequência e os tempos de reverberação estimados para a sala de ensaio da B.M.M.P antes da reabilitação.

Material	Frequência (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
Pavimento em betão armado revestido com mosaico	0,58	0,58	0,58	0,58	1,16	1,16
Painéis de contraplacado fino	4,99	2,49	1,19	0,95	0,71	0,71
Paredes rebocadas	0,97	0,97	0,64	0,97	1,29	1,61
Janelas em vidro	0,54	0,36	0,23	0,18	0,14	0,09
Aberturas	1,68	1,68	1,68	1,68	1,26	1,26
Cortina leve no tecto	2,55	2,55	3,18	3,18	6,37	6,37
Cortina leve nas paredes	2,19	2,63	3,94	5,26	7,88	9,64
Cadeiras	9,50	11,50	14,00	14,00	14,00	11,50
Ar (HR=60%)	0,00	0,00	0,00	0,67	0,89	6,23
Instrumentos	1,40	3,50	4,90	7,00	5,60	5,60
Portas em madeira	0,59	0,42	0,34	0,34	0,34	0,34
Pessoas em pé	0,38	0,66	0,88	0,84	0,92	0,74
A ( $m^2$ )	25,36	27,33	31,56	35,64	40,55	45,24
TR (s)	1,40	1,30	1,13	1,00	0,88	0,79
TR <sub>[500/1k/2k]</sub> (s)	---	---		1,0		---

O tempo de reverberação previsto para a sala de ensaio sem músicos, apenas com as cadeiras respectivas, é de 1,0 s, como se pode observar no quadro 5.2. Este valor resulta da média aritmética entre os valores de TR calculados para as frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz.

#### 5.1.2.3. Descrição do ensaio

Para se avaliar o tempo de reverberação (TR) *in situ*, seleccionaram-se três pontos representativos da totalidade da sala de ensaio da B.M.M.P como se observa na figura 5.1.

Na determinação do tempo de reverberação utilizou-se uma fonte sonora para emissão de um ruído rosa, que cobre todo o espectro de frequências de interesse, assegurando sempre um ruído superior ao ruído de fundo. Os decaimentos registados foram os de 20 dB e de 30 dB, contudo os valores registados pelo sonómetro são os valores extrapolados para o decaimento de 60 dB. Estes valores resultam de uma média ponderada de duas medições por ponto, obtidas rodando o sonómetro de 45° entre a primeira e a segunda medição.

Os equipamentos utilizados foram o sonómetro modelo 2260 (Fig. 5.2) e respectivo tripé e uma fonte sonora modelo 4225 (Fig. 5.3), tudo da marca *Brüel & Kjær*. Todos os ensaios foram realizados pelo Eng. António Costa do Laboratório de Acústica da FEUP (LAIC) para um correcto manuseamento do material anteriormente referido.

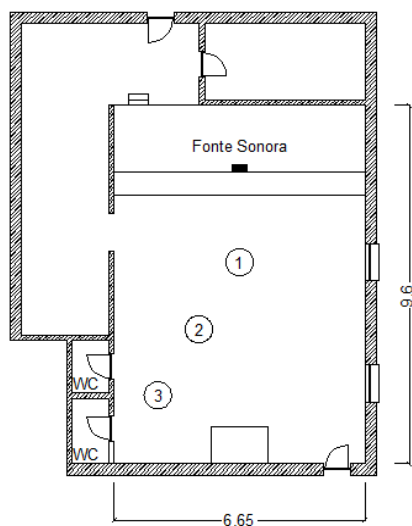


Fig. 5. 1 - Localização dos três pontos para avaliação do TR na sala de ensaio da B.M.M.P.. [Planta do autor]



Fig. 5. 2 - Sonómetro da marca Brüel & Kjær mod. 2260 [Foto do autor]





Fig. 5. 3 - Fonte emissora da marca Brüel & Kjær mod. 4224 [Foto do autor].

Importa referir que as primeiras medições do TR foram anuladas pois apresentavam valores elevados para as baixas frequências, valores estes que estavam associados às vibrações das membranas dos instrumentos de percussão. Assim, foram tapados todos os instrumentos de membrana (tímpanos, bombo e bateria) (Fig. 5.4) evitando tais vibrações e feitas as medições correctamente para as posições anteriormente referidas.



Fig. 5. 4 - Bombo destapado (a) e bombo tapado (b), com o objectivo de parar as vibrações das membranas.

[Foto do autor]

#### 5.1.2.4. Resultado dos ensaios

Foram efectuadas seis medições do tempo de reverberação, três com instrumentos de membrana destapados e três com os mesmos instrumentos tapados. Para cada um dos pontos foram registados os valores de TR por bandas de frequência de 1/1 oitava dos 63 Hz aos 4000 Hz. Os resultados estão apresentados nos quadros 5.3 e 5.4 bem como nas figuras 5.5 e 5.6.

Na figura 5.7 confrontam-se os valores do tempo de reverberação médios por banda de frequência para cada um dos casos (com e sem instrumentos de membrana tapados).

Quadro 5. 3 - Valores do tempo de reverberação (s) medidos na sala de ensaio da B.M.M.P após a reabilitação estar concluída, **com instrumentos de membrana destapados**.

Frequência (Hz)	63	125	250	500	1k	2k	4k
TR medição 1 (s)	2,03	1,16	1,14	0,93	0,77	0,77	0,74
TR medição 2 (s)	2,55	0,98	1,11	0,92	0,77	0,77	0,74
TR medição 3 (s)	3,32	1,63	1,39	0,97	0,82	0,75	0,64
TR (s)	2,63	1,26	1,21	0,94	0,79	0,76	0,71
TR <sub>[500/1k/2k]</sub> (s)	---	---	---		0,8		---

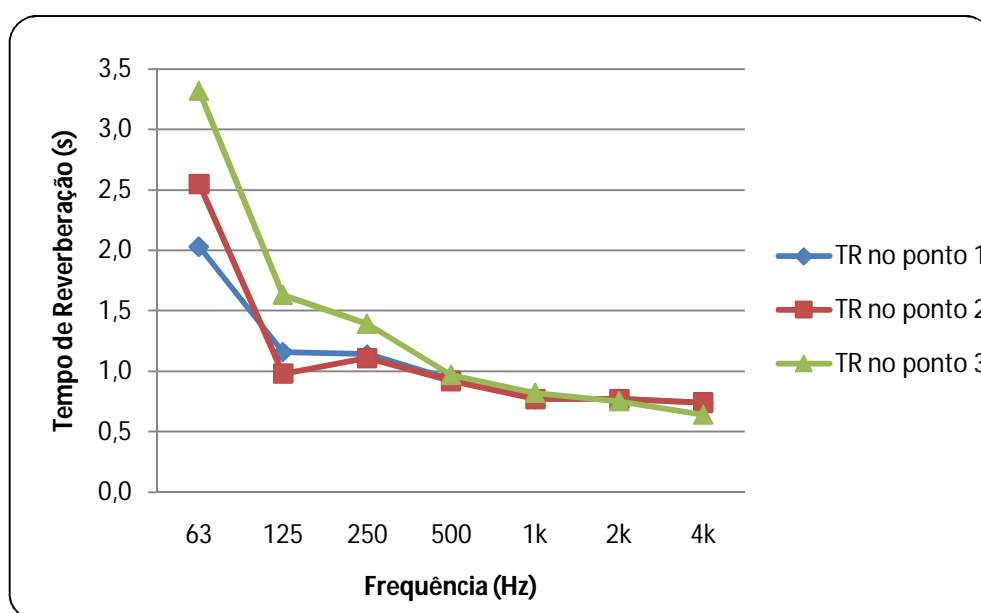


Fig. 5. 5 - Valores do tempo de reverberação medidos na sala de ensaio da B.M.M.P após a reabilitação estar concluída, **com instrumentos de membrana destapados**.

Quadro 5. 4 - Valores do tempo de reverberação medidos (s) na sala de ensaio da B.M.M.P após a reabilitação estar concluída, **com instrumentos de membrana tapados**.

Frequência (Hz)	63*	125	250	500	1k	2k	4k
TR medição 1 (s)	1,33	0,97	1,05	0,89	0,76	0,76	0,72
TR medição 2 (s)	1,52	1,03	1,03	0,94	0,76	0,81	0,75
TR medição 3 (s)	1,45	1,19	1,1	0,91	0,76	0,75	0,75
TR (s)	1,43	1,06	1,06	0,91	0,76	0,77	0,74
TR <sub>[500/1k/2k]</sub> (s)	---	---	---		0,8		---

\* Valores utilizados só e exclusivamente para comparar com o TR sem tapar os instrumentos de membrana.



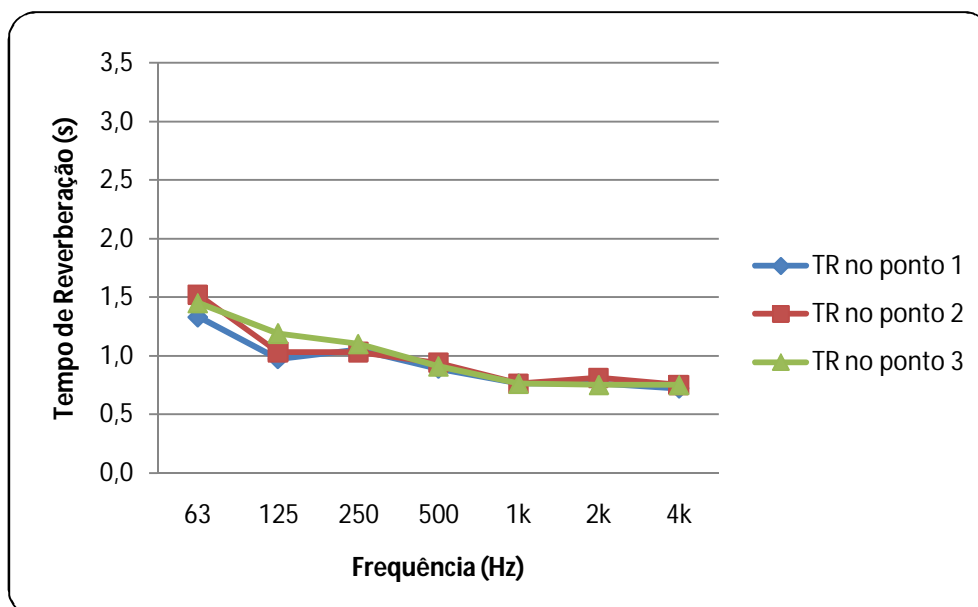


Fig. 5. 6 - Valores do tempo de reverberação medidos na sala de ensaio da B.M.M.P após a reabilitação estar concluída, **com instrumentos de membrana tapados**.

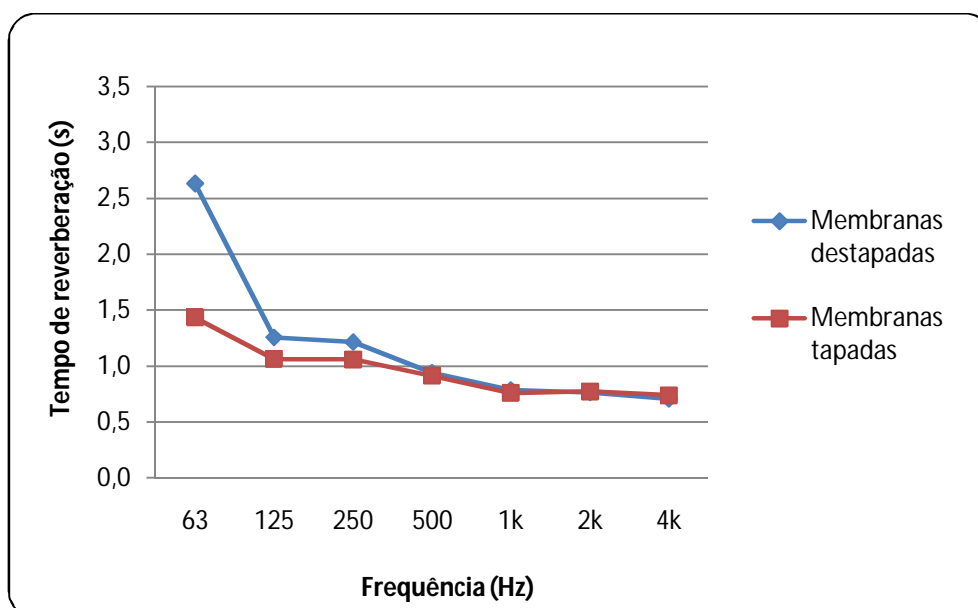


Fig. 5. 7 - Comparação do TR médios na sala de ensaios da B.M.M.P. **com e sem membranas destapadas**.

Comparando os valores do quadro 5.3 com os valores do quadro 5.4, é possível observar que quando os instrumentos de membrana não se encontram tapados, o tempo de reverberação aumenta nas baixas frequências, como se pode perceber melhor na figura 5.7. No entanto, o tempo de reverberação médio da sala, para as frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, mantém-se igual em ambos os casos. Este fenómeno foi fácil de perceber, porque se notou nitidamente aquando das medições o soar do ruído durante mais tempo, devido às vibrações das peles dos instrumentos levando a repetir as medições após tapar as membranas dos destes, para perceber quantitativamente o que estava a acontecer.

Os valores medidos e apresentados anteriormente são de grande importância para uma sala de música, mesmo que esta sirva única e exclusivamente para ensaios, não descorando a inteligibilidade da palavra no diálogo entre maestros e músicos. No entanto, os estudos disponíveis sobre as condições óptimas em salas de ensaio são raros, o que torna difícil a comparação com outros valores obtidos anteriormente.

Neste trabalho considerar-se-á um bom tempo de reverberação médio para a música filarmónica entre 1,6 e 1,8 s (Fig. 2.16), enquanto para uma boa percepção da palavra são necessários baixos tempos de reverberação entre 0,8 e 1,0 s (Fig 2.16).

Alguns autores [6] referem que em salas dedicadas especialmente para a música, é importante existir um tempo de reverberação mais elevado nas baixas frequências (125 Hz), conferindo “calor” às mesmas, como se verifica na figura 2.17. Assim, pode-se concluir que a sala de ensaio da B.M.M.P goza de tais características, apresentando TR superiores nas baixas frequências. No entanto, os valores registados para o tempo de reverberação com os instrumentos de membrana tapados são mais baixos que os recomendados para salas de música, sendo aparentemente bons para a percepção da palavra, o que não seria de esperar numa sala para este fim.

#### 5.1.2.5. Comparação entre o TR estimado e o TR medido (com os instrumentos de membrana tapados)

Com o objectivo de comparar os valores do tempo de reverberação (estimado para antes da reabilitação e medidos após a reabilitação) e perceber até que ponto a reabilitação terá alterado as características acústicas da sala, elaboraram-se as figuras 5.8 e 5.9. No caso da figura 5.8 os valores do tempo de reverberação são apresentados para as frequências entre 125 Hz e 4000 Hz, enquanto na figura 5.9 são apresentados os valores de TR característico da sala, antes e depois da reabilitação.

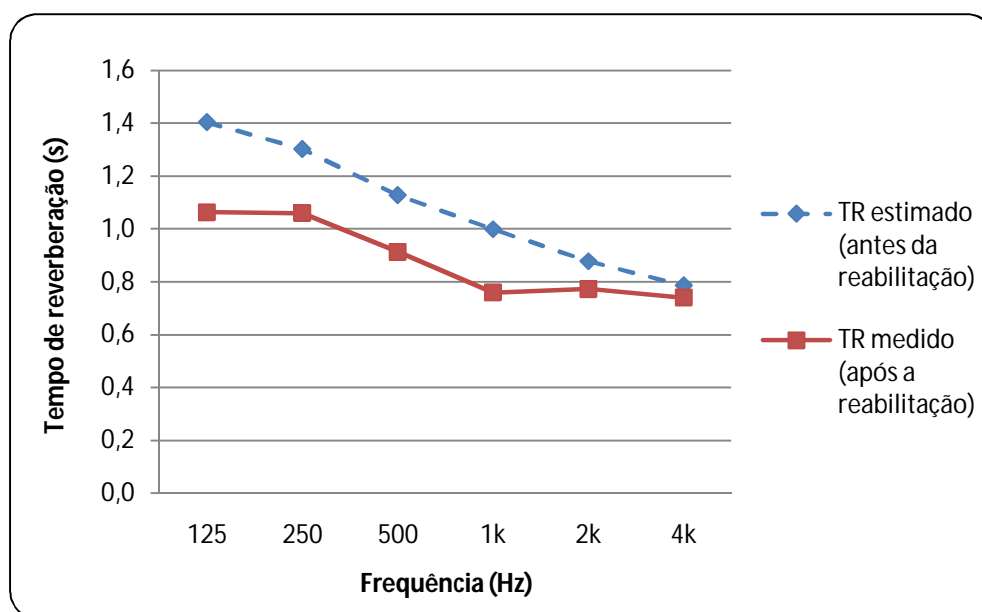


Fig. 5. 8 – Valores dos tempos de reverberação por frequência, estimado (antes da reabilitação) e medido (após a reabilitação).

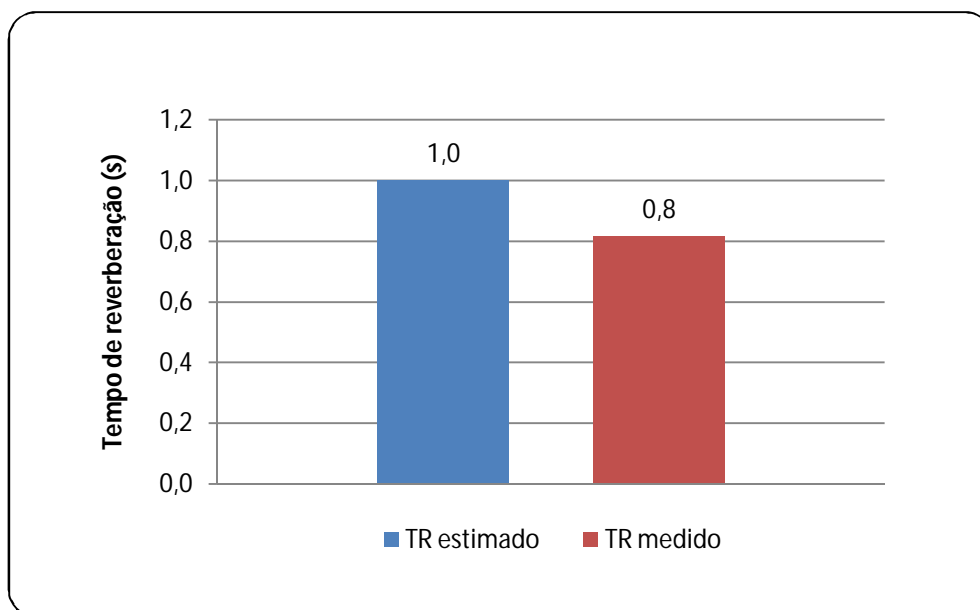


Fig. 5. 9 – Valores dos tempos de reverberação médios ( $TR_{[500/1k/2k]}$ ) da sala, estimado (antes da reabilitação) e medido (após a reabilitação).

Da figura 5.8 pode-se concluir que os tempos de reverberação da sala antes da reabilitação seriam próximos dos ideais nas baixas frequências, para salas com esta utilização segundo a literatura (Fig. 2.17), no entanto, apresentava valores um pouco baixos para as altas frequências. Com a reabilitação sofrida, o tempo de reverberação tornou-se mais uniforme em todo o espectro de frequências, mas foi talvez reduzido em demasia, principalmente nas baixas frequências, mudando o seu TR médio de 1,0 s para 0,8 s (ideal para salas para a palavra), como se pode verificar na figura 5.9, apresentando-se agora seca de mais para os fins desejados.

Se nesta análise se tivesse em conta os músicos existentes na sala de ensaio, quando a B.M.M.P. se encontra a ensaiar, os valores para o tempo de reverberação seriam muito menores. Assim, pode-se afirmar que o TR estimado antes da reabilitação seria bom para salas para a palavra e que actualmente a sala se encontra excessivamente seca para salas destinadas à música.

### 5.1.3. RUÍDO DE FUNDO

#### 5.1.3.1. Generalidades

O ruído de fundo numa sala de ensaios ou de espectáculos pode provocar incómodos ou dificultar ou impedir a atenção, a comunicação e a concentração.

*“Não se pode tocar uma sinfonia de Mahler em que nos andamentos com poucos decibéis se ouçam portas a bater e descargas de autoclismos”.*

*Sindicato dos músicos sobre a sala de ensaios da Orquestra Sinfónica Portuguesa 14 de Janeiro de 2000 – Jornal “Público”.*

Uma sala de ensaios serve para corrigir problemas a nível de reportório, pelo que a comunicação entre músicos e maestros não pode ser esquecida. Para que uma palavra seja perfeitamente perceptível, é

necessário que a sua intensidade supere em pelo menos 15 dB(A) o ruído de fundo. Então um ruído de fundo superior a 35 ou 40 dB(A) provocará dificuldades na comunicação oral, que só se pode resolver, parcialmente, aumentando o tom de voz. A partir dos 65 dB(A) de ruído de fundo, a conversação torna-se extremamente difícil [16].

#### 5.1.3.2. Descrição do ensaio

Para avaliar o ruído de fundo foram escolhidos três pontos estratégicos, de forma a caracterizar a totalidade da sala de ensaio da B.M.M.P. Os pontos escolhidos no interior da sala situam-se a 1/4, 2/4 e 3/4 da mesma, como se vê na figura 5.10, sendo que os pontos no exterior foram escolhidos nas proximidades do edifício da sala de ensaio. Para ilustrar este mesmo ensaio apresenta-se também a figura 5.11, onde se verifica a posição de medição do ruído de fundo no ponto 1.

O ponto 3 ficou um pouco retirado dos outros, porque procurou-se colocar o sonómetro num local menos protegido tanto pelo próprio edifício como pelas envolventes do mesmo.

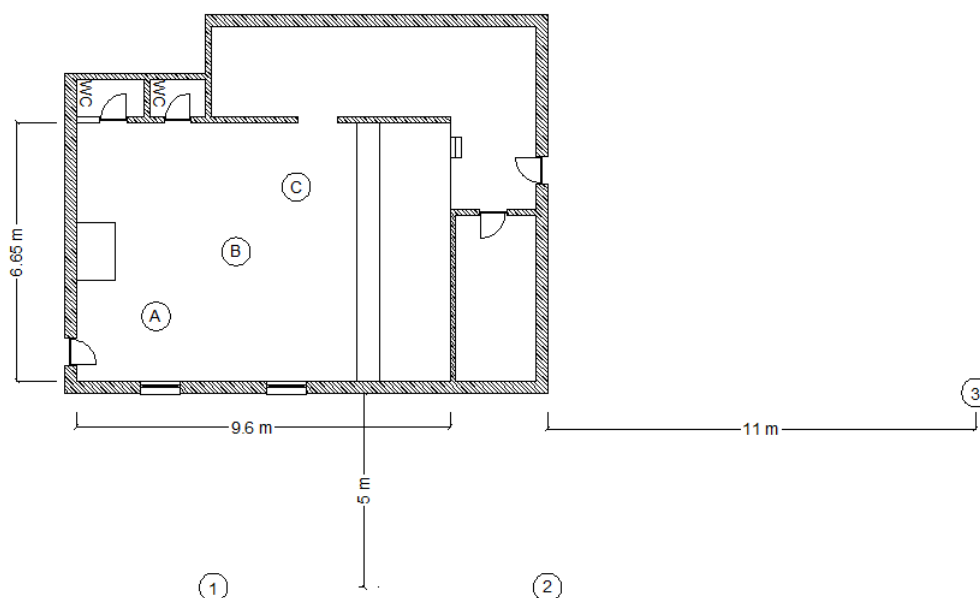


Fig. 5. 10 - Localização dos pontos ensaiados para avaliação do  $L_f$  do ruído de fundo no interior (A, B e C) e no exterior (1, 2 e 3). [Planta do autor]

O ensaio foi realizado com o sonómetro anteriormente referenciado (Fig. 5.2), havendo o cuidado de registar apenas valores de  $L$  do ruído de fundo médio, sem picos causados por eventuais ruídos anormais no local. As fontes do ruído de fundo medido, tanto no exterior como no interior da sala de ensaio da B.M.M.P. (Fig 5.11 e 5.12), eram de vários tipos desde animais (pássaros e patos do rio), veículos que passam constantemente nas pontes próximas, máquinas agrícolas e algumas pessoas que circulam nas redondezas.



Fig. 5. 11 - Medição do  $L$  do ruído de fundo no ponto 1. [Foto do autor]



Fig. 5. 12 - Medição do  $L$  do ruído de fundo no ponto B. [Foto do autor]

Cada medição foi realizada num espaço de dez minutos, perfazendo 30 minutos para as três no interior e no exterior respectivamente, sendo o valor obtido para o interior e para o exterior a média aritmética das três posições A, B e C e 1, 2 e 3 respectivamente. O sonómetro registou o valor do  $L_{eq}$  e  $L_{Aeq}$  valor sem filtro A e valor com filtro respectivamente.

Uma pequena particularidade foi o facto de, nas medições no interior da sala de ensaio, serem observados valores de níveis de pressão sonora um pouco elevados para altas frequências. Estes valores elevados estavam associados ao ruído provocado pela vibração de umas das lâmpadas. Para

que os valores fossem os mais reais possíveis, as medições foram feitas com essa mesma lâmpada apagada. Estes valores não serão apresentados por se tratar de valores pouco relevantes no trabalho desenvolvido, ficando apenas como nota, a título de curiosidade.

#### 5.1.3.3. Ruído de fundo no exterior da sala de ensaio da B.M.M.P.

Das medições efectuadas com a metodologia anteriormente descrita, resultaram níveis de pressão sonora por bandas de 1/1 oitava, nas três medições realizadas no exterior, sem e com a aplicação de filtro A conforme apresentado no quadro 5.5 e 5.6 respectivamente.

Quadro 5. 5 - Níveis de pressão sonora ( $L_{eq}$ ) medidos no **exterior** da sala de ensaio devido ao ruído de fundo.

Frequências (Hz)	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
$L$ medição 1 (dB)	46,7	46,1	52,6	38,8	43,0	42,1	36,4	35,4	25,4
$L$ medição 2 (dB)	46,6	46,0	52,7	38,8	43,0	42,1	36,6	35,4	25,3
$L$ medição 3 (dB)	46,3	45,8	51,5	37,8	41,8	41,3	35,5	34,4	24,0
$L$ médio (dB)	46,5	46,0	52,3	38,5	42,6	41,8	36,2	35,1	24,9

Quadro 5. 6 - Níveis de pressão sonora com filtro A ( $L_{Aeq}$ ), medidos no **exterior** da sala de ensaio, devido ao ruído de fundo.

Frequências (Hz)	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
$L_A$ medição 1 (dB)	6,7	20,1	37,1	30,3	40,0	42,1	37,4	36,4	24,4
$L_A$ medição 2 (dB)	6,6	20,0	37,2	30,3	40,0	42,1	37,6	36,4	24,3
$L_A$ medição 3 (dB)	6,3	19,8	36,0	29,3	38,8	41,3	36,5	35,4	23,0
$L_A$ médio (dB)	6,5	20,0	36,8	30,0	39,6	41,8	37,2	36,1	23,9

#### 5.1.3.4. Ruído de fundo no interior da sala de ensaio da B.M.M.P.

No quadro 5.7 e 5.8 apresentam-se os níveis de pressão sonora no interior da sala de ensaio por bandas de 1/1 oitava sem e com ponderação do filtro A respectivamente.

Quadro 5. 7 - Níveis de pressão sonora ( $L_{eq}$ ) medidos no **interior** da sala de ensaio, devido ao ruído de fundo.

Frequências (Hz)	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
$L$ medição A (dB)	27,4	26,1	25,9	20,3	21,2	18,9	18,9	16,5	14,7
$L$ medição B (dB)	29,9	25,6	26,1	21,1	21,8	20,2	18,7	15,7	14,3
$L$ medição C (dB)	29,7	25,7	25,9	21,6	21,9	20,4	18,3	15,4	14,2
$L$ médio (dB)	29,1	25,8	26,0	21,0	21,6	19,9	18,6	15,9	14,4

Quadro 5. 8 - Níveis de pressão sonora ( $L_{Aeq}$ ), medidos no **interior** da sala de ensaio, devido ao ruído de fundo.

Frequências (Hz)	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
$L_A$ medição A (dB)	< 0	1,4	10,6	17,4	17,3	21,2	19,9	19,9	15,5
$L_A$ medição B (dB)	1,2	3,9	10,1	17,6	18,1	21,8	21,2	19,7	14,7
$L_A$ medição C (dB)	0,9	3,7	10,2	17,4	18,6	21,9	21,4	19,3	14,4
$L_A$ médio (dB)	0,5	3,1	10,3	17,5	18,0	21,6	20,9	19,6	14,9

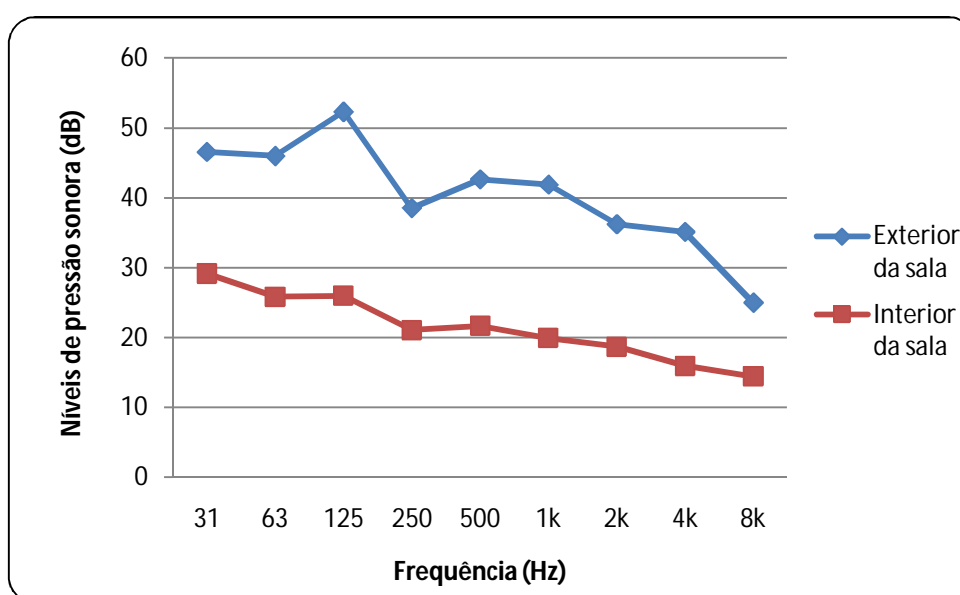
## 5.1.3.5. Comparação do ruído de fundo no exterior e no interior da sala de ensaio da B.M.M.P.

Com o objectivo de determinar o isolamento sonoro bruto ( $\Delta L$ ) entre o exterior e o interior da sala de ensaio da B.M.M.P, compararam-se os valores médios do ruído de fundo ( $L_{eq}$  e  $L_{Aeq}$ ), medidos no interior e no exterior da sala, quantificando assim a redução sonora bruta provocada pela parede exterior desta mesma sala.

No quadro 5.9 são apresentados os valores dos respectivos ruídos de fundo sem correcção do filtro A. Para permitir uma melhor comparação destes dados, pode-se observar a figura 5.13, onde se apresentam os diferentes níveis de pressão sonora ( $L_{eq}$ ) para as frequências avaliadas, tanto para o interior como para o exterior da sala.

Quadro 5. 9 - Valores médios dos níveis de pressão sonora ( $L_{eq}$ ) do ruído de fundo no **exterior e no interior** da sala de ensaio.

Frequência (Hz)	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	$\Sigma$
$L_{eq}$ no exterior da sala (dB)	46,5	46,0	52,3	38,5	42,6	41,8	36,2	35,1	24,9	54,8
$L_{eq}$ no interior da sala (dB)	29,1	25,8	26,0	21,0	21,6	19,9	18,6	15,9	14,4	33,2
$\Delta L = (L_{eq\ ext} - L_{eq\ int.})$	17,4	20,2	26,3	17,5	21,0	22,0	17,6	19,2	10,5	21,6

Fig. 5. 13 – Níveis de pressão sonora ( $L_{eq}$ ) no interior e no exterior da sala de ensaio da B.M.M.P.

Como o ruído de fundo irá afectar todos os músicos que utilizam a sala de ensaio, é importante ter em conta não só os níveis de pressão sonora equivalentes ( $L_{eq}$ ) como também os resultados corrigidos com para o ouvido humano ( $L_{Aeq}$ ), pelo que se apresentam no quadro 5.10 os valores dos níveis de pressão sonora obtidos no exterior e no interior da sala.

Com o objectivo de facilitar a comparação e seguindo a metodologia anterior é apresentada a figura 5.15, onde se verificam os valores dos níveis de pressão sonora, com a aplicação do filtro A, da sala de ensaio em questão.

O isolamento sonoro bruto ( $\Delta L$ ), obtido pela diferença entre os níveis de pressão sonora medidos no exterior e interior da sala, é igual quer se esteja a falar de níveis de pressão sonora com ou sem correcção para o ouvido humano. Assim sendo, apresenta-se a figura 5.16 para representar os valores que caracterizam a parede exterior sala de ensaio da B.M.M.P, em termos de redução sonora bruta.

Quadro 5. 10 - Valores médios dos níveis de pressão sonora ( $L_{Aeq}$ ) do ruído de fundo no exterior e no interior da sala de ensaio.

Frequência (Hz)	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	$\Sigma$
$L_{Aeq}$ no exterior da sala (dB)	6,5	20,0	36,8	30,0	39,6	41,8	37,2	36,1	23,9	46,0
$L_{Aeq}$ no interior da sala (dB)	< 0	< 0	10,5	12,5	18,6	19,9	19,6	16,9	13,4	25,6
$\Delta L = (L_{Aeq\ ext} - L_{Aeq\ int.})$	> 7	> 20	26,3	17,5	21,0	22,0	17,6	19,2	10,5	20,4

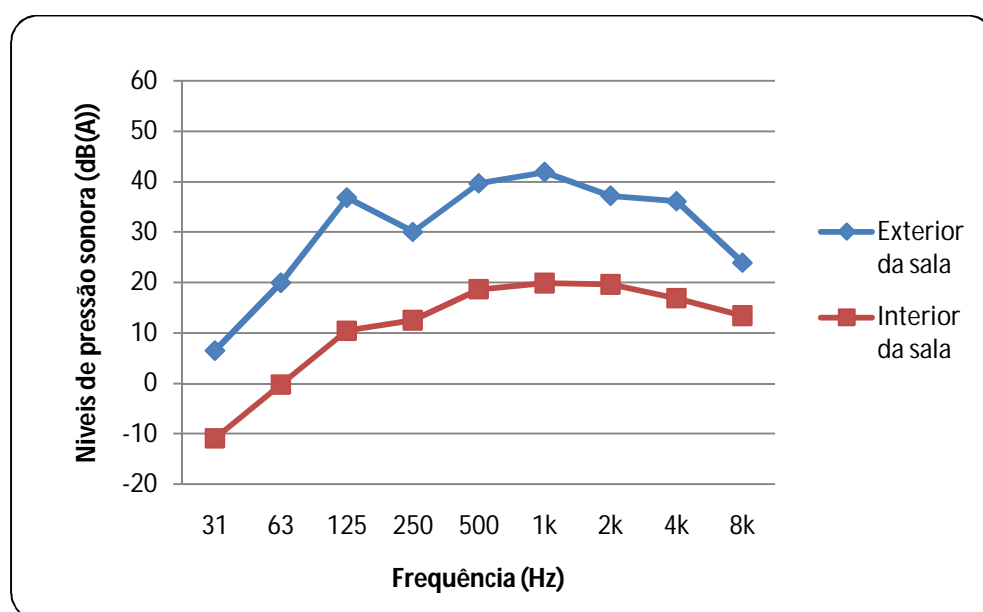


Fig. 5. 14 - Níveis de pressão sonora ( $L_{Aeq}$ ) no interior e no exterior da sala de ensaio da B.M.M.P.



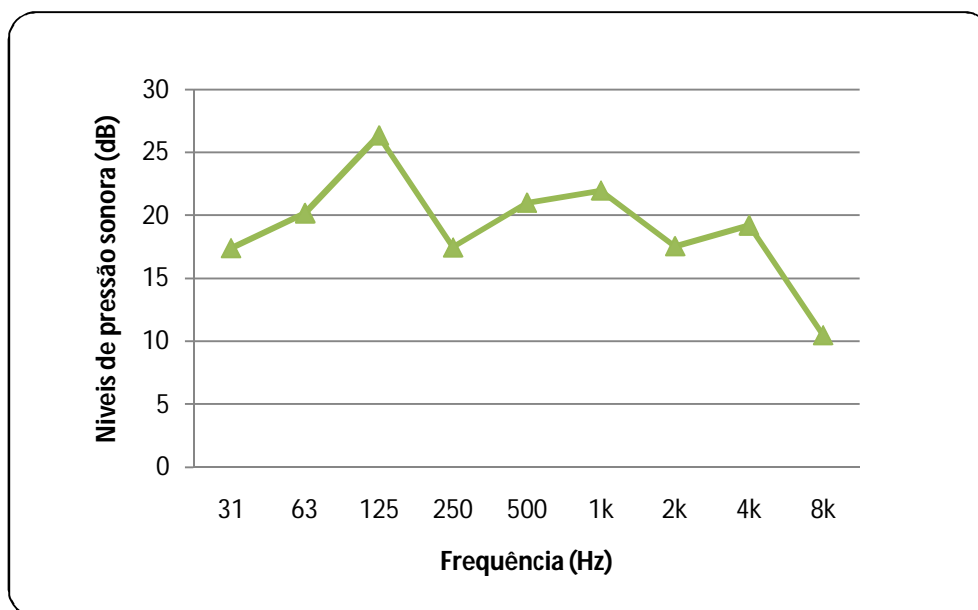


Fig. 5. 15 - Diferenças dos níveis de pressão sonora ( $\Delta L$ ) do exterior para o interior da sala de ensaio da B.M.M.P.

A partir da análise dos quadros 5.10 verifica-se que há uma redução no valor de ruído de fundo do exterior para o interior da sala é de 20 dB(A). No entanto pode-se afirmar que estes valores são bons para este caso em concreto, isto é, no caso de esta sala de ensaio da B.M.M.P. se localizar num ambiente mais ruidoso, estes valores de isolamento sonoro bruto seriam insuficientes. O valor aconselhado para o isolamento sonoro bruto de elementos construtivos exteriores, é no mínimo, de 25 dB valor este superior aos obtidos nos ensaios da sala de ensaio da B.M.M.P.

Relembrando o anteriormente referenciado no ponto 5.1.3.1 e comparando com os valores obtidos nos ensaios para o ruído de fundo no interior da sala, 26 dB(A) (Quadro 5.10), pode-se concluir que nesta sala é possível uma boa comunicação entre os músicos, pois o nível de pressão sonora no seu interior não atinge os valores problemáticos de 35 e 40 dB(A).

Comprando estes valores com os valores dos níveis de pressão sonora em situações correntes (Fig. 5.16), pode-se reforçar ainda mais a afirmação anterior, pois os níveis registados no interior da sala de ensaio (26 dB) aproximam-se dos valores típicos para uma biblioteca ou para uma sala de estar, locais caracterizados por serem locais calmos e sossegados.

Os valores obtidos já eram previsíveis, visto a sala de ensaio da B.M.M.P. se situar numa zona rural bastante calma, onde não existe grande tráfego nem outro tipo de acções ruidosas. Outro factor de realce é o facto de os ensaios musicais serem realizados durante a noite, onde são esperados valores de ruído de fundo inferiores aos obtidos nos ensaios acústicos. Assim, pode-se afirmar sem qualquer tipo de dúvida que a nível do parâmetro acústico, ruído de fundo, a sala de ensaio da B.M.M.P. é uma sala com excelentes condições, para a música.

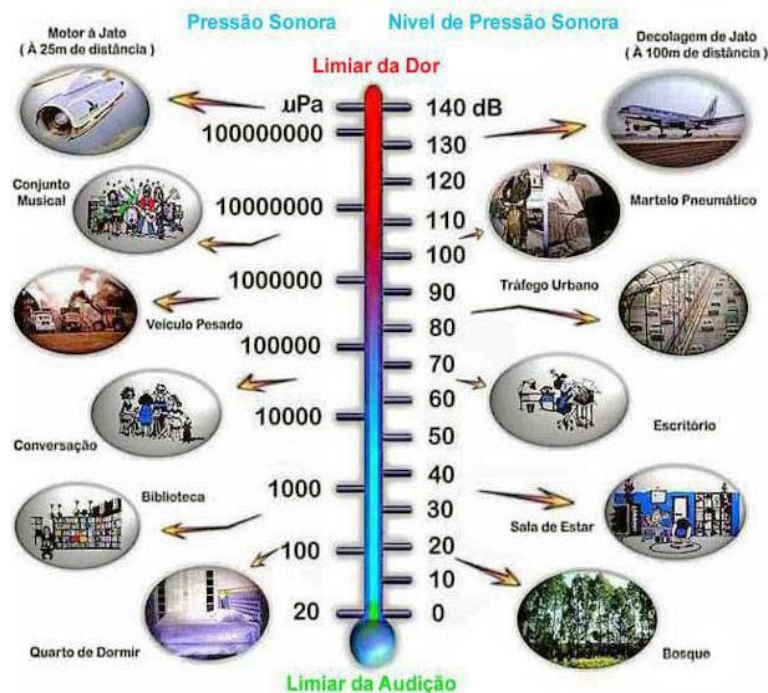


Fig. 5. 16 - Valores de alguns níveis de pressão sonora em situações correntes [19].

#### 5.1.3.6. Análise subjectiva da sala de ensaio da B.M.M.P.

Para perceber até que ponto os músicos estão satisfeitos com as alterações sofridas pela sala de ensaio, aquando as obras de reabilitação, foi elaborado um questionário ao qual responderam todos os chefes de naipe e maestro.

Para que seja claro o que se pretende classificar em cada um dos parâmetros incluídos no questionário, segue-se uma breve definição de cada um deles.

**Ruído Exterior:** os sons escutados no local mas provenientes de fontes exteriores como sejam ruídos de tráfego, buzinas, animais ou outros;

**Intensidade do Som:** a intensidade geral ou “volume” do som sentido no local;

**Clareza do Discurso Musical:** o grau em que as notas musicais são claramente separadas no tempo e distintamente ouvidas;

**Reverberância:** a persistência do som no espaço. Permite ter uma noção aproximada do tempo que o som permanece nesse espaço após a fonte sonora ter cessado;

**Eco:** reflexões atrasadas do som emitido pela fonte, mas claramente audíveis. Estes têm por vezes origem quando os tectos ou paredes tem características bastante reflectoras;

**Envolvimento:** o sentimento de estar imerso, ou rodeado no som. Este envolvimento resulta da maneira como o som reverberante se distribui no espaço. Quando existe um bom envolvimento, o auditor tem a sensação de que o som lhe chega aos ouvidos com a mesma energia sonora de todas as

direcções. Facto importante para que todos os músicos se ouçam uns aos outros com a mesma intensidade;

**Equilíbrio Tímbrico:** níveis relativos das frequências graves e agudas;

**Impressão Geral:** a impressão geral da qualidade acústica sentida.

Os resultados médios do questionário em questão são apresentados no quadro 5.11, dando-se o dobro da importância aos valores indicados pelo maestro. Este facto deve-se a este ser a pessoa mais atenta a todos os pormenores acústicos na sala de ensaio e aquele que melhor deve ouvir a banda para poder corrigir qualquer tipo de problema detectado.

A pontuação atribuída a cada parâmetro avaliado pode variar entre 1 e 7, sendo o valor de 1 atribuído a parâmetros que influenciem muito negativamente a qualidade acústica da sala de ensaio, e o valor 7 atribuído a parâmetros que contribuem em grande parte para a qualidade acústica da sala de ensaio da B.M.M.P., quer a sua presença ou a sua ausência. Por exemplo, a nível do ruído exterior, uma classificação com um valor de 7 indica que não existe nenhum ruído proveniente do exterior, contribuindo assim, para uma boa qualidade da sala de ensaio.

Quadro 5. 11 - Resultados do inquérito realizado aos músicos e maestro da B.M.M.P.

Parâmetro	Média
Ruído exterior	5
Intensidade do Som	6
Clareza do discurso musical	6
Reverberância	5
Eco	5
Envolvimento	5
Equilíbrio tímbrico	5
Impressão geral	6

Da análise do quadro 5.11, observa-se que o ruído proveniente do exterior apresenta um valor de 3, indo de encontro aos valores medidos para este parâmetro e a tudo dito sobre este no ponto 5.1.3.5 deste trabalho.

A pontuação para o parâmetro *clareza do discurso musical*, apresenta um valor alto (6) que vai de encontro aos resultados obtidos, para o TR, que classificavam a sala como seca de mais para a música e de boa qualidade para a palavra. Estes dois parâmetros, são inversamente proporcionais entre si, ou seja, quanto menor o tempo de reverberação maior será a clareza musical o que permitirá uma maior precisão nas correcções feitas pelo maestro, pois as notas soam individualmente aumentando a sua percepção.

Quanto ao parâmetro *equilíbrio tímbrico*, pode afirmar-se que se trata de uma sala um pouco desequilibrada devido aos diferentes tempos de reverberação obtidos para a gama de frequências analisada, existindo um maior tempo de reverberação para as baixas frequências do que para as altas, sendo esta diferença excessiva para um bom equilíbrio global. O valor atribuído, no questionário

realizado, para este parâmetro (5), não vai ao encontro dos valores obtidos nos ensaios realizados, nem traduz a opinião real do maestro, como se pode ler seguidamente.

Num contexto geral a sala obteve quase nota máxima apresentando o valor de 6 para o parâmetro que avalia a *impressão geral*.

Questionando o maestro da B.M.M.P. sobre as principais mudanças a nível acústico sentidas com as obras de reabilitação, este foi objectivo na sua resposta, *“A sala melhorou consideravelmente a resposta nas frequências mais agudas (já consigo tolerar melhor a caixa, o glockenspiel e o flautim). As frequências médias estão mais “quentes”, mas os graves estão demasiado presentes, havendo mesmo alguns sons das tubas e bombardinos que “incomodam”.*

É da sua opinião que a sala melhorou com as obras efectuadas, melhorando a compreensão dos vários naipes e instrumentos tanto para quem executa como para quem dirige. No entanto, deixa no ar a ideia que é possível melhorar alguns aspectos, principalmente nas baixas frequências.

*“Apesar dos problemas que subsistem, a sala ficou melhor, após as obras. A compreensão dos vários naipes e instrumentos tornou-se mais fácil e mais confortável, penso, tanto para quem executa como para quem dirige. Ainda será possível minimizar os problemas acústicos detectados intervindo na sala de forma a diminuir o impacto das frequências graves, com soluções económicas e que não desvirtuem o trabalho de fundo realizado. Ficará sempre aquém do ideal uma vez que, tanto a nível de pé-direito como de área útil da sala, bem como disposição dos instrumentos e materiais ideais para tratar acusticamente o espaço, só uma sala nova poderá resolver definitivamente os problemas. Uma sala de ensaio para banda (esta potente mistura de sopros e percussão) precisa de condições especiais para tornar agradável o trabalho. É claro que somos uma banda amadora e, como tal, não fazemos ensaios diários. Se assim fosse seríamos forçados a resolver estes problemas, de forma mais célere.”*

*Francisco Moreira, Maio de 2010*

## **5.2. CENTRO COMERCIAL STOP**

### **5.2.1. OBJECTIVO**

Neste capítulo são analisados os valores da medição de cinco parâmetros acústicos, com o objectivo de caracterizar três salas de ensaio do centro comercial STOP do Porto, que serviram como exemplo para a totalidade das salas aí presentes.

Foram feitos vários ensaios, nomeadamente ao isolamento sonoro a ruídos aéreos e de percussão, tempo de reverberação e ruído de fundo presente nas mesmas, quando se encontram bandas a tocar em salas adjacentes. Para tal foi necessário caracterizar as salas, no que diz respeito a volumetrias, tempo de reverberação e  $L$  do ruído de fundo característico das mesmas.

Seguidamente, são apresentados os resultados de todos os ensaios realizados e tecidos breves comentários relativos a estes.

## 5.2.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

### 5.2.2.1. Generalidades

O tempo de reverberação de um espaço só por si não vai definir a qualidade de um pequeno estúdio para música, como são as salas de ensaio do C.C. STOP. Em paralelo com este parâmetro é necessário analisar qual a finalidade da sala em questão. Por exemplo, se estamos na presença de uma sala para instrumentos acústicos, ou grupos de *hard rock*, entre outros. No entanto, depois de muitas experiências realizadas foi possível chegar a uma aproximação das condições gerais razoáveis, ao invés de uma condição totalmente verdadeira, para salas para música com as características das do C.C. STOP [4]. Essa aproximação pode ser observada na figura 5.18, conseguindo-se na área a sombreado um estúdio mais abrangente, onde tanto a música como a palavra são perceptíveis em boas condições. O autor do seguinte gráfico (Fig. 5.17), não explicita para que gama de frequências foram analisados estes tempos de reverberação, assim, admite-se que os valores correspondem a tempos de reverberação médios das frequências de 500 Hz e 1000 Hz.

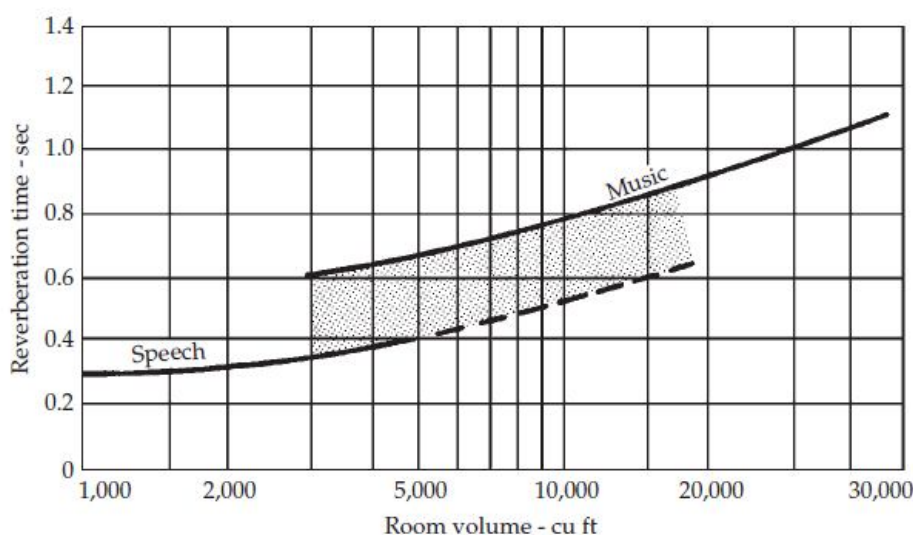


Fig. 5. 17 - Tempos de reverberação médios ( $TR_{[500/1k]}$ ) em função do volume ( $cu\ ft$ )<sup>1</sup> sugeridos para estúdios de música, onde a área a sombreado é uma zona de compromisso para estúdios de música e voz em simultâneo [4].

O tempo de reverberação analisado nos pontos seguintes é referente às salas 221, 318 e 319 e está apresentado em banda de 1/1 oitava nas frequências entre 125 Hz e 4000 Hz. De referir que as salas se encontravam com diferentes tratamentos, ao nível das suas superfícies interiores, e que o volume das mesmas difere de umas para as outras como referido no capítulo 4.

<sup>1</sup> 1000  $cu\ ft \approx 28,32\ m^3$ . [20]

### 5.2.2.2. Descrição do ensaio

Para obter os valores de TR, usou-se a mesma metodologia descrita no ponto 5.1.2.3, utilizando os mesmos equipamentos (Fig. 5.2 e Fig. 5.3). As medições decorreram no dia 17 de Abril de 2010 e decorreram durante toda a tarde, devido ao pouco silêncio que se faz sentir em todo o centro comercial. Para se obterem três medições coerentes, era necessário esperar por uma pausa geral de todas as bandas que se encontravam a ensaiar, não tendo assim ruídos exteriores a interferirem com o da fonte sonora.

A rede de pontos foi escolhida tendo em conta uma representação total das salas a serem analisadas tal como tinha acontecido para a sala de ensaio da B.M.M.P. Na figura 5.18 pode-se observar a rede de pontos escolhida, no caso específico das salas do C.C. STOP, para determinação do TR.

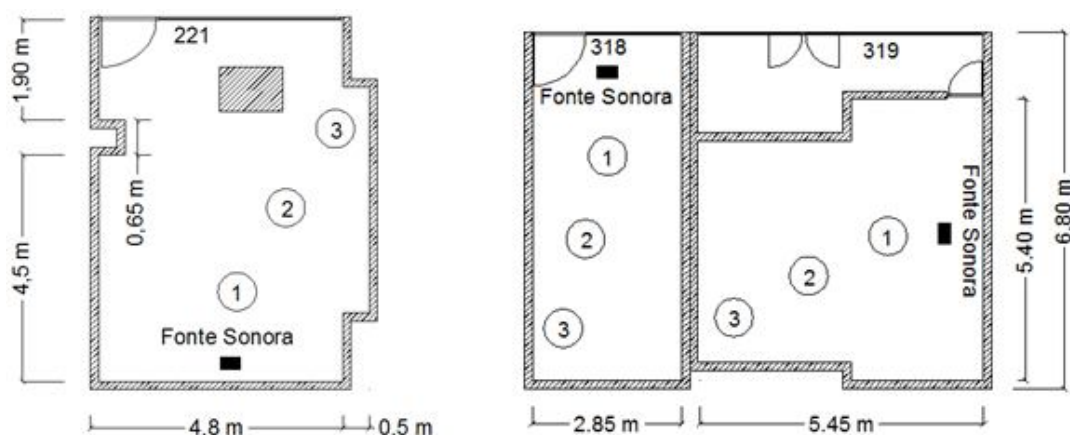


Fig. 5. 18 - C.C. STOP – Mapa de pontos de medição do TR nas salas 221, 318 e 319 [Planta do autor].

### 5.2.2.3. Tempo de reverberação (sala 221)

A sala 221 é a sala de maior dimensão apresentando um volume de  $111 \text{ m}^3$  aproximadamente. No que toca às suas superfícies interiores, todas elas são revestidas com gesso cartonado, o que a torna muito reflectora (Fig. 5. 19).

Os resultados obtidos nos ensaios, realizados nesta sala, estão apresentados no quadro 5.12 bem como na figura 5.21.



Fig. 5. 19 - Superfícies em gesso cartonado, que conferem à sala **221** características reflectoras [Foto do autor].

Quadro 5. 12- Valores do tempo de reverberação (s) medidos na sala de ensaio **221**, do centro comercial STOP.

Frequência (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
TR medição 1 (s)	2,10	1,62	0,66	0,54	0,57	0,58
TR medição 2 (s)	2,09	1,42	0,65	0,54	0,56	0,60
TR medição 3 (s)	1,85	1,28	0,75	0,58	0,56	0,60
TR (s)	2,01	1,44	0,69	0,55	0,56	0,59
TR <sub>[500/1k]</sub> *(s)	---	---	0,62	---	---	---
TR <sub>[500/1k/2k]</sub> ** (s)	---	---	---	0,60	---	---

\* valor para comparar com os valores propostos na figura 5.17

\*\* valor regulamentar

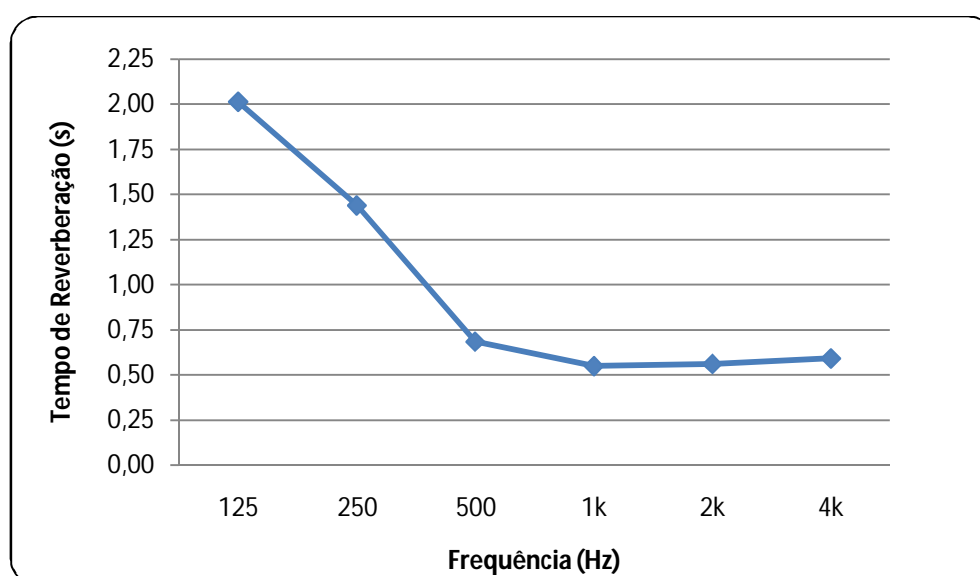


Fig. 5. 20 - Tempos de reverberação médios (s) medidos na sala de ensaio 221, do centro comercial STOP.



#### 5.2.2.4. Tempo de reverberação (sala 318)

A sala 318 é uma sala pouco cuidada esteticamente e a mais pequena das três analisadas, apresentando um volume de aproximadamente 70 m<sup>3</sup>. O único revestimento utilizado eram caixas de ovos, sendo que as paredes que não estavam revestidas eram em betão à vista (Fig. 5.21).

Os valores obtidos no ensaio em questão estão apresentados no quadro 5.12 e na figura 5.22.

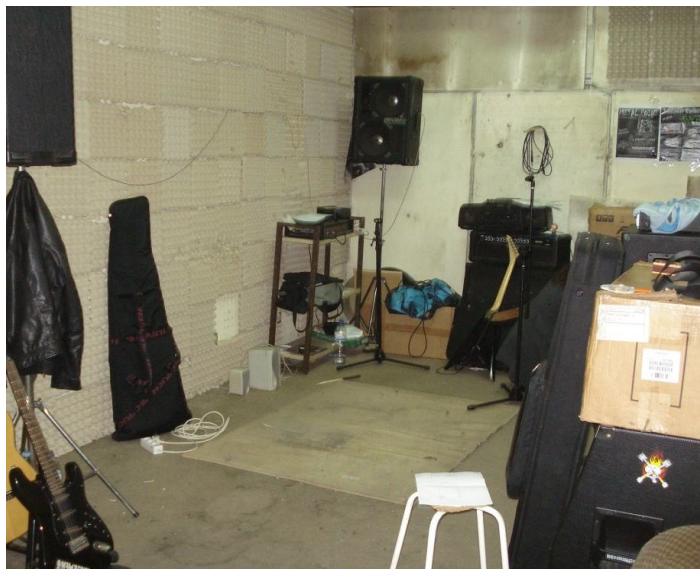


Fig. 5. 21 - Superfícies com caixas de ovos, que conferem à sala **318** características mais absorventes que a sala 221 [Foto do autor].

Quadro 5. 13 - Valores do tempo de reverberação (s) medidos na sala de ensaio **318**, do centro comercial STOP.

Frequência (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
TR medição 1 (s)	0,68	0,45	0,34	0,27	0,29	0,25
TR medição 2 (s)	0,57	0,42	0,38	0,28	0,27	0,24
TR medição 3 (s)	0,53	0,51	0,31	0,25	0,29	0,25
TR (s)	0,59	0,46	0,34	0,27	0,28	0,25
TR <sub>[500/1k]</sub> *(s)	---	---	0,31	---	---	---
TR <sub>[500/1k/2k]</sub> ** (s)	---	---		0,30		---

\* valor para comparar com os valores propostos na figura 5.17

\*\* valor regulamentar



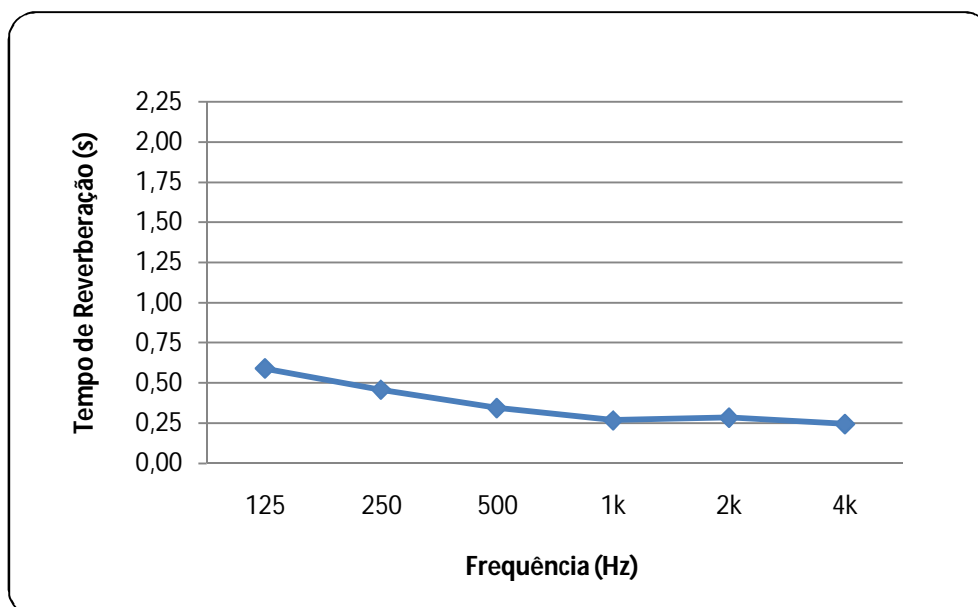


Fig. 5. 22 - Tempos de reverberação médios (s) medidos na sala de ensaio 318, do centro comercial STOP.

#### 5.2.2.5. Tempo de reverberação (sala 319)

A sala 319 de todas as salas analisadas é a que apresenta melhores revestimentos nas superfícies, tendo em algumas superfícies revestimentos como fibra de coco e espuma *Aglomex* (Fig. 5.23).

No quadro 5.14 e na figura 5.24, estão representados os valores obtidos nos ensaios na sala em questão.



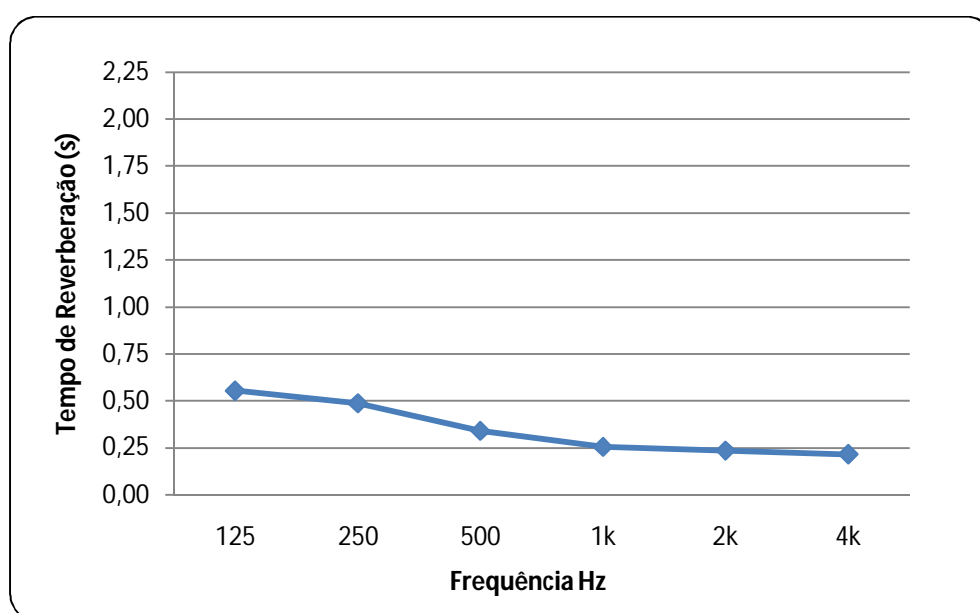
Fig. 5. 23 - Superfícies com espuma *Aglomex* e fibra de coco, que conferem à sala **319** características mais absorventes que a sala 318 [Foto do autor].

Quadro 5. 14 - Valores do tempo de reverberação (s) medidos na sala de ensaio **319**, do centro comercial STOP.

Frequência (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
TR medição 1 (s)	0,55	0,50	0,34	0,25	0,24	0,23
TR medição 2 (s)	0,58	0,51	0,30	0,24	0,22	0,21
TR medição 3 (s)	0,54	0,46	0,38	0,28	0,25	0,22
TR (s)	0,56	0,49	0,34	0,26	0,24	0,22
TR <sub>[500/1k]</sub> *(s)	---	---	0,30	---	---	---
TR <sub>[500/1k/2k]</sub> ** (s)	---	---	---	0,28	---	---

\* valor para comparar com os valores propostos na figura 5.17

\*\* valor regulamentar

Fig. 5. 24 - Tempos de reverberação médios (s) medidos na sala de ensaio **319**, do centro comercial STOP.

#### 5.2.2.6. Comparação do tempo de reverberação para as salas 221, 318 e 319

Com o objectivo de melhor comparar e analisar os resultados obtidos nos ensaios para o tempo de reverberação das três salas estudadas no C.C. STOP, elaboraram-se as figuras 5.25 e 5.26. Na figura 5.25 estão representados os valores do TR nas bandas de frequência analisadas, sendo que não figura 5.26 apresenta-se os valores do TR médio, das salas 221, 318 e 319 respectivamente, nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz.

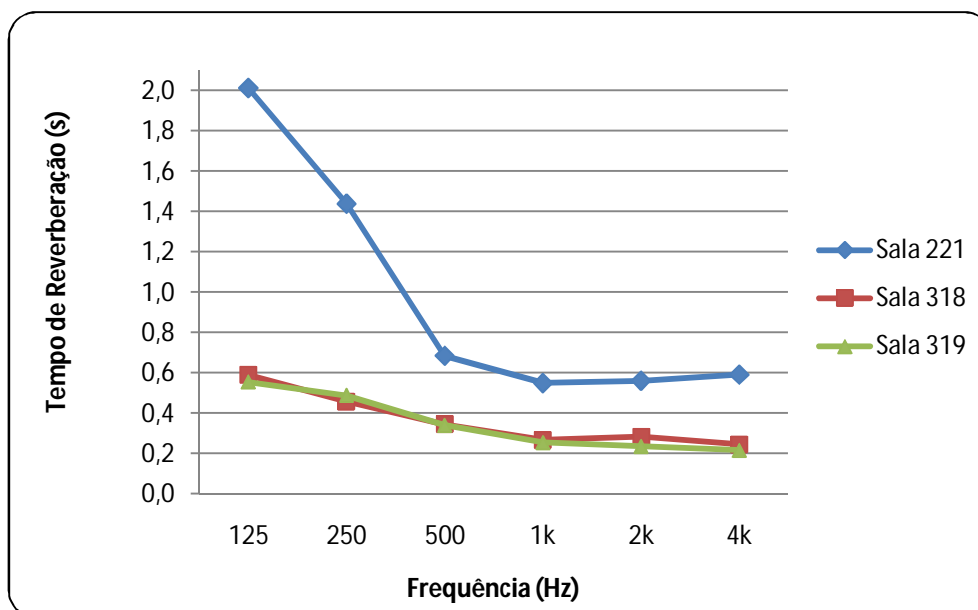


Fig. 5. 25 - Tempos de reverberação médios (s) medidos nas salas de ensaio 221, 318 e 319, do centro comercial STOP.

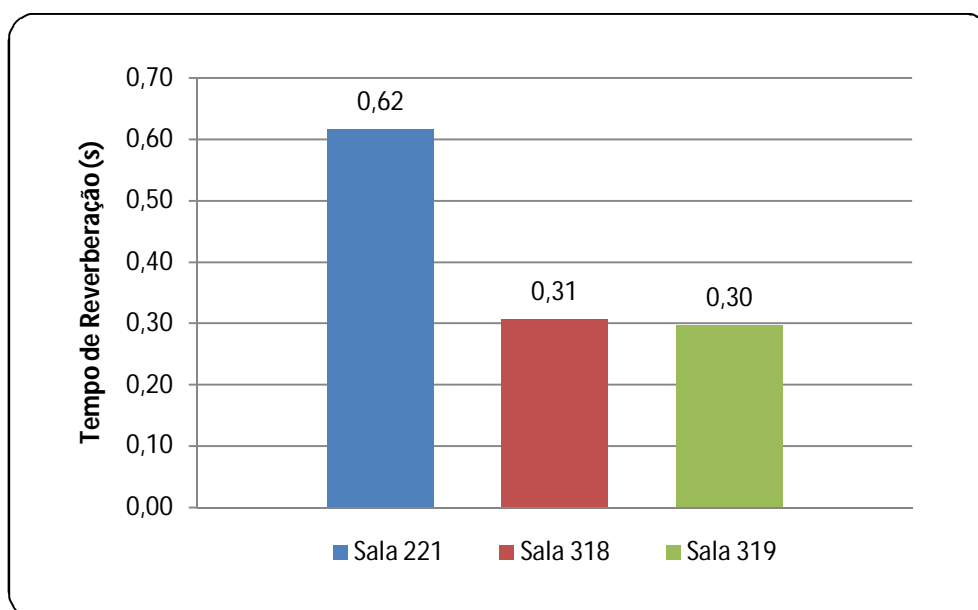


Fig. 5. 26 - Tempos de reverberação (s) nas salas de ensaio 221, 318 e 319, do centro comercial STOP.

Sabendo que os volumes das salas 221, 318 e 319 são, respectivamente e aproximadamente,  $111 \text{ m}^3$ ,  $64 \text{ m}^3$  e  $88 \text{ m}^3$ , pode-se através da análise da figura 5.16 comentar os valores do TR obtidos para as salas em estudo. Assim passando o volume para *cu ft* observa-se que, a sala 221 tem um volume aproximado de  $3220 \text{ cu ft}$ , a sala 318 apresenta um volume de  $2260 \text{ cu ft}$  aproximadamente e por fim a sala 319 possui um volume de cerca de  $3108 \text{ cu ft}$ .

Sobrepondo os valores dos volumes das salas e recorrendo ao gráfico da figura 5.17, obtém-se a figura 5.27, chegando à conclusão de que uma das salas não está na zona sombreada que seria o ideal para um estúdio para música e para a voz. Os pontos foram colocados no gráfico na zona intermédia entre as duas curvas, porque todos os grupos que ensaiam nas salas estudadas têm vocalista e necessitam de comunicar oralmente entre os elementos da banda. Com esta colocação, foi dada a mesma importância tanto à música em si como à voz, tentando conjugar as duas da melhor maneira.

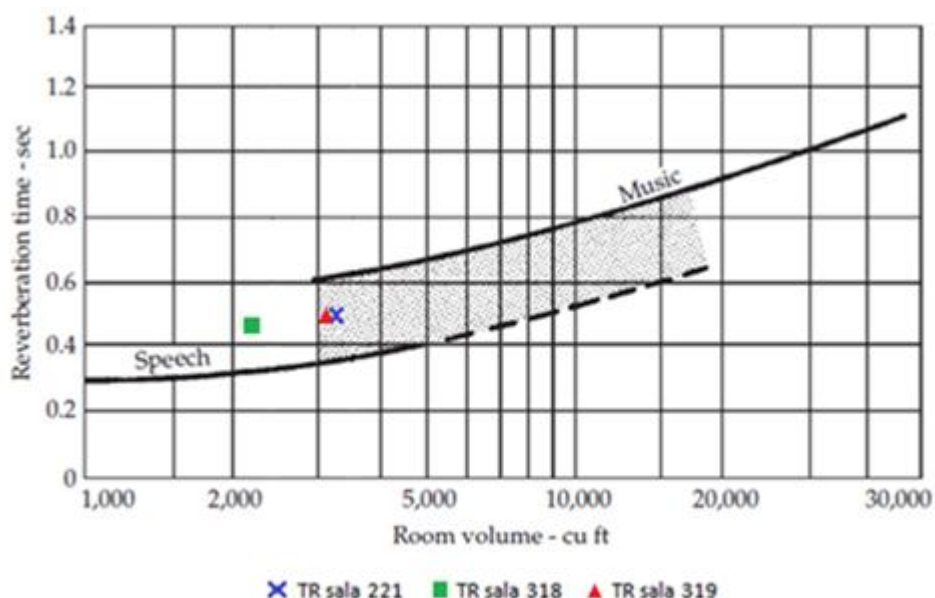


Fig. 5. 27 - Tempos de reverberação ideais em função do volume da sala (cu ft) [Adaptado de 4].

Relacionando agora os tempos de reverberação ideais 0,5 s; 0,43 s e 0,48 s para as salas 221, 318 e 319 respectivamente, obtidos na figura 5.27, com os reais apresentados na figura 5.26, pode-se ver a diferença entre uns e outros percebendo até que ponto seria necessário intervir nas salas em estudo a nível de TR. De salientar que estes valores, alvos de comparação, correspondem a tempos de reverberação médios nas frequências de 500 Hz e 1000 Hz,  $TR_{[500/1k]}$ .

Para melhor se perceber a diferença entre os valores ideais e os reais construiu-se a figura 5.28 onde estão representados ambos os valores, ideais e reais, onde se verifica que a sala mais próxima do ideal em termos de volume/TR é a sala 319, apresentando uma diferença 0,18 s aproximadamente entre os valores ideais e os reais, obtidos nos ensaios. No entanto, uma diferença desta grandeza (0,18 s) não é significativa, estando os valores reais relativamente em concordância com os ideais propostos na figura 5.27. O maior problema identificado ao nível do tempo de reverberação, é o facto da sala 221 ter elevados valores para as baixas frequências, evidenciando um grande desequilíbrio tímbrico, não desejado para salas para música.

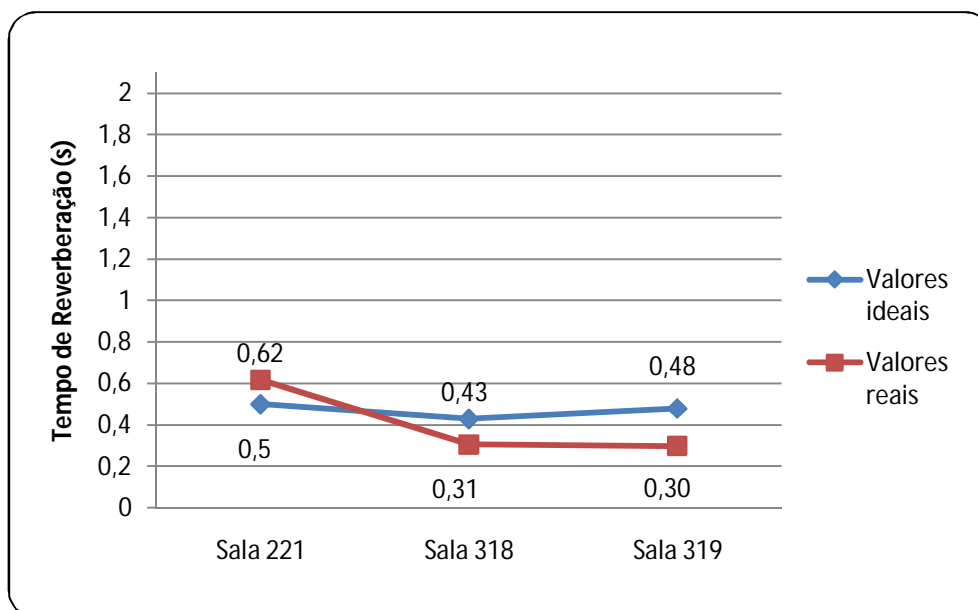


Fig. 5. 28 - Comparação entre os valores ideais [adaptado de 4] e os valores reais de TR para as salas estudadas no C.C.STOP.

### 5.2.3. RUÍDO DE FUNDO

#### 5.2.3.1. Generalidades

No centro comercial STOP, este problema ganha grande importância devido aos grandes níveis de ruído de fundo que as salas experimentam ao longo do dia. Este factor impede mesmo os próprios músicos de ensaiar em condições normais, recorrendo por vezes a protectores de ouvidos ou então colocar o som da sua banda mais alto para vencer o ruído de fundo, com o objectivo de se concentrarem apenas no som da sua banda.

*“...Ouve-se algum ruído das salas adjacentes, quando as bandas ensaiam em simultâneo. E nos corredores então é uma grande confusão de sons que não é nada agradável. E quando se abrem as portas das salas então é o caos...”*

*“Por vezes pode ser prejudicial para a audição correcta do som que se está a tentar produzir no ensaio uma vez que há alguns ruídos externos em pano de fundo. É essencial para um músico ensaiar em locais com absoluto silêncio. E pode obrigar a colocar o som da sala mais alto para cobrir esses ruídos externos, o que não é de todo bom para o conforto auditivo dos músicos.”*

*Opinião de um músico do STOP escrita directamente para o autor.*

#### 5.2.3.2. Descrição do ensaio

O ensaio para determinar os níveis de pressão sonora do ruído de fundo, foi realizado no dia 17 de Abril de 2010. A metodologia e o equipamento foi o mesmo que para a sala de ensaio da B.M.M.P, com a pequena diferença que não se mediu o ruído de fundo no exterior da sala.

A única sala avaliada foi a 319, por se tratar da sala base para este estudo. De referir também, o facto deste ruído ter sido registado com apenas uma banda a tocar no mesmo piso da sala em questão.

Assim, ao valor registado neste ponto do trabalho, é necessário ter em conta a agravante de normalmente estar mais que uma banda a tocar em simultâneo no mesmo piso.

Os pontos escolhidos para caracterizar totalmente a sala foram os representados na figura 5.29.

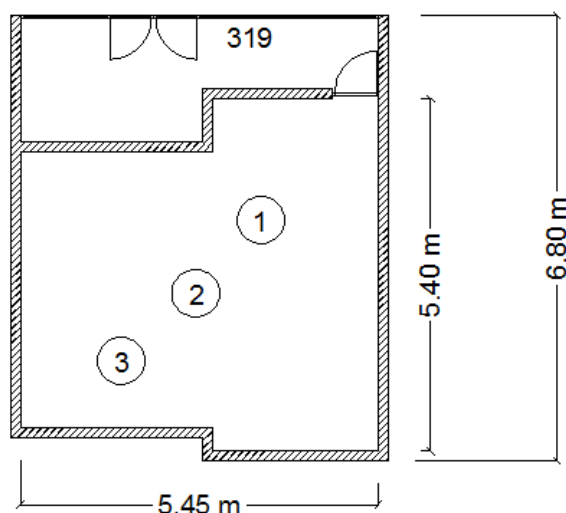


Fig. 5. 29 - Localização dos pontos para quantificar os níveis de pressão sonora do ruído de fundo na sala 319 do C.C.STOP.

#### 5.2.3.3. Ruído de fundo no interior da sala 319

Os valores dos níveis de pressão sonora do ruído de fundo registados na sala 319 com uma banda a tocar, numa outra sala deste mesmo piso (piso 3), estão descritos nos quadros 5.15 e 5.16. No quadro 5.15, os níveis de pressão sonora estão representados sem a correcção com o filtro A, enquanto no quadro 5.16 esses valores já se apresentam corrigidos para o ouvido humano (filtro A).

Quadro 5. 15 - Níveis de pressão sonora  $L$  (dB) medidos no interior da sala 319 devido ao ruído de fundo provocado por uma banda no mesmo piso.

Frequência (Hz)	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	$\Sigma$
$L$ medição 1 (dB)	50,9	57,5	60,4	53,7	45,4	38,4	37,5	31	25,5	63
$L$ medição 2 (dB)	50,7	57,4	60,9	54,4	46,9	39,4	38,2	31,4	25,7	64
$L$ medição 3 (dB)	50,7	61,7	69,6	60,5	55	51,5	48,4	37,2	28	71
$L$ médios (dB)	50,8	59,4	65,8	57,4	51,2	47,2	44,3	34,2	26,6	67

Quadro 5. 16 - Níveis de pressão sonora  $L_A$  (dB) medidos no interior da sala 319 devido ao ruído de fundo provocado por uma banda no mesmo piso.

Frequências (Hz)	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	$\Sigma$
$L_A$ medição 1 (dB)	10,9	31,5	44,9	45,2	42,4	38,4	38,5	32,0	24,5	50
$L_A$ medição 2 (dB)	10,7	31,4	45,4	45,9	43,9	39,4	39,2	32,4	50,2	54
$L_A$ medição 3 (dB)	10,7	35,7	54,1	52,0	52,0	51,5	49,4	38,2	27,0	59
$L_A$ médios (dB)	10,8	33,4	50,3	48,9	48,2	47,2	45,3	35,2	45,5	56

As curvas NC (*NOISE CRITERION*) e NR (*NOISE RATING*) podem ser usadas para caracterizar ruídos de fundo estáveis e contínuos, em geral de sistemas de condicionamento termo-higrométrico e não ruídos de actividades produzidas pelos ocupantes de um local.

No entanto, para a avaliação do ruído de fundo medido na sala 319, considera-se que este é proveniente de equipamentos, esquecendo em parte o parágrafo anterior, com o objectivo de ter uma melhor percepção do grau de incomodidade existente nesta sala.

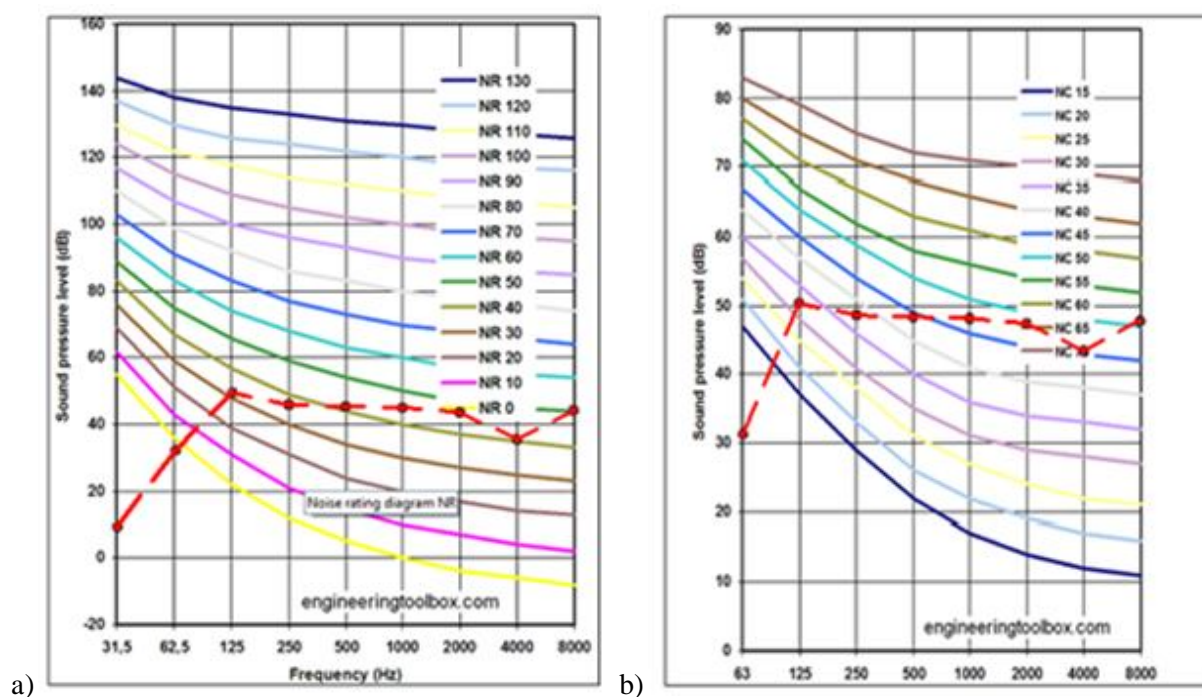


Fig. 5. 30 – Níveis de pressão sonora medidos nas curvas NR [36] (a) e NC [35] (b).

O valor de NR e NC obtido nas curvas anteriores (Fig 5.30), foi de NR-52 [33] e NC-49 [34]. Os valores de NC e NR máximos aconselhados para este tipo de salas são de NC-30 [35] e de NR-25 [36].

Da análise dos quadros 5.15 e 5.16 e dos valores das curvas NC e NR, pode-se concluir que o ruído de fundo existente na sala 319 (56 dB(A)) obriga a elevados tons de voz, para que os músicos se façam ouvir uns aos outros com clareza, como descrito anteriormente no ponto 5.1.3.1.

Comparando este valor com o valor de ruídos do dia-a-dia (Fig 5.16), observa-se a proximidade destes com o de nível de pressão sonora de várias pessoas em conversação ou de um escritório, faltando pouco para atingir o nível do tráfego urbano. Assim, pode-se afirmar que se tratam de ruídos que em nada ajudam a concentração dos executantes da sala 319, indo de encontro aos testemunhos recolhidos e apresentados no ponto 5.2.3.1.

#### 5.2.4. ISOLAMENTO SONORO NO CENTRO COMERCIAL STOP

##### 5.2.4.1. Generalidades

No caso concreto das salas de ensaio do centro comercial STOP, o isolamento sonoro entre locais reveste-se de grande importância visto ser quase impossível ensaiar ou desenvolver qualquer tipo de trabalho nas salas em questão, quando se encontra alguma banda a tocar em simultâneo.

Outra das agravantes do pouco isolamento sonoro existente, é o facto de o ruído produzido no interior do centro comercial provocar, sobretudo durante a noite, incomodidade nos vizinhos. Este facto já levou a algumas queixas na polícia bem como na Câmara Municipal do Porto.

*“Há muito que os vizinhos se queixam do barulho até altas horas da madrugada, praticamente desde que aquele se tornou o poiso dos músicos da Invicta.” André Rito, Publicado no dia 2 de Janeiro de 2010 [14]*

*“... comparando, por exemplo, com a 124, onde ensaia uma banda de metal que debita som pelos três andares, mesmo de porta fechada” Daniel Fontoura, Vocalista Os Slide, Publicado no dia 2 de Janeiro de 2010 [14]*

Neste ponto do trabalho (5.2.4), apresentar-se-ão os valores de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea e de isolamento sonoro a ruídos de percussão, tanto entre salas como entre salas e espaços comuns, nomeadamente o corredor.

##### 5.2.4.2. Descrição dos ensaios

Os ensaios para obter o *isolamento sonoro a ruídos aéreos* foram realizados no dia 17 de Abril de 2010 utilizando-se uma fonte sonora, a mesma que nos outros ensaios anteriores (Fig. 5.3), que produziu um ruído rosa na sala emissora (ponto “a”, sala 319) medindo-se em cinco pontos diferentes os níveis de pressão sonora existentes. Depois de finalizadas estas primeiras medições, mudou-se a fonte sonora de local (ponto “b”) e voltou-se a medir os níveis de pressão sonora nos mesmos locais (Fig 4.15), obtendo-se um valor médio para o ruído produzido no emissor.

Para caracterizar o ruído que consegue chegar ao compartimento receptor, volta-se a repetir o processo anterior mas desta feita na sala receptora (sala 318), nos pontos apresentados na figura 5.31.

Este processo repetiu-se para a avaliação do isolamento sonoro a ruídos de condução aérea, utilizando desta vez o corredor como emissor e a sala 218 como receptora. Os pontos para avaliação dos níveis de pressão sonora no receptor (sala 318) podem ser observados na figura 5.31, sendo que os pontos escolhidos no corredor estão representados nesta mesma figura com as letras de A a E. A posição da fonte sonora alterou de “a” para “b”, do primeiro conjunto de medições para o segundo, seguindo a mesma metodologia do ensaio entre as salas 319 e 318.



Através da diferença entre os valores médios dos níveis de pressão sonora registados no emissor e no receptor, obtém-se o isolamento sonoro bruto (D) que necessita de ser corrigido para o tempo de reverberação do compartimento receptor padronizado para  $T_0$  (0,5 s). Após esta correcção, ter-se-á o desejado isolamento sonoro a ruídos de aéreos,  $DnT$ , por bandas de terço de oitava, que aplicando a curva de referência NP-717-1 (Fig. 2.26), será transformado no valor regulamentar de  $DnT_w$ .

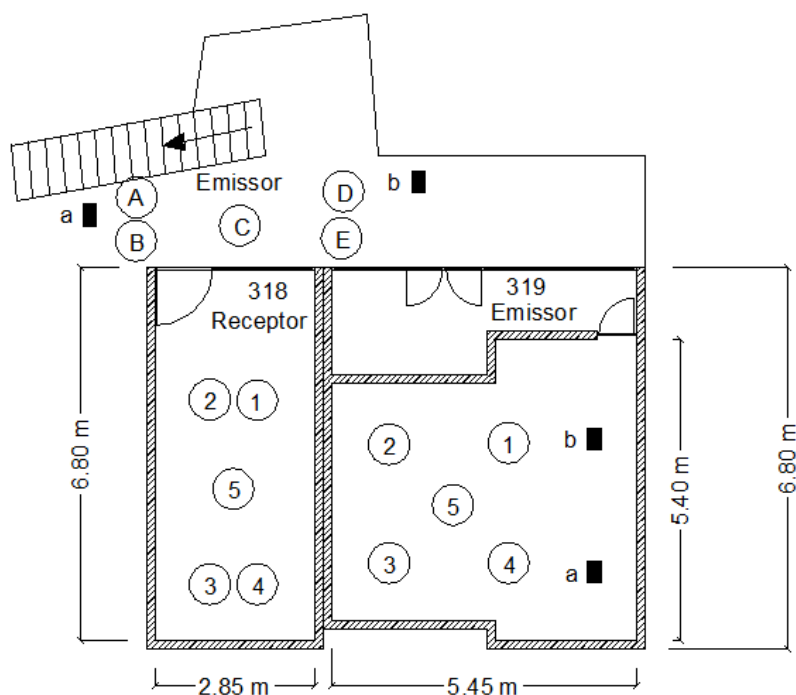


Fig. 5. 31 - Mapa de pontos de medição do isolamento sonoro entre as salas 318 -319 e corredor-318, para as diferentes posições da fonte sonora (A e B) [Planta do autor].

Os ensaios para obtenção dos valores de *isolamento sonoro a ruídos de percussão* foram realizados no dia 22 de Abril de 2010.

Foram feitos 3 conjuntos de medições, para cada posição da figura 5.32, com a finalidade de perceber até que ponto os diferentes pisos da sala emissora (319) influenciavam o ruído na sala receptora. A primeira medição foi feita em tijoleira, a segunda em alcatifa assente em tijoleira e a terceira num estrado de madeira, com uma altura de 20 cm, onde estava colocada a bateria (Fig. 5.33).

Para tal, colocou-se a máquina de impactos normalizada (Fig. 4.29) nos diferentes pisos da sala superior à sala 221 (sala 319) e registaram-se os níveis de pressão sonora com o sonómetro (Fig. 5.2), usado em todas as medições anteriores, rodando a fonte sonora entre cada conjunto de medição.

Este ensaio apenas permite avaliar o ruído no compartimento receptor ( $L_i$ ), que depois será padronizado para  $L'nT$ , utilizando o tempo de reverberação, medido na mesma sala (sala 221), padronizado para  $T_0=0,5$  s. Aplicando-se a curva de referência EN ISO 717-2 (Fig. 2.29) para ruídos de percussão obtendo-se o valor de  $L'nT_w$ .

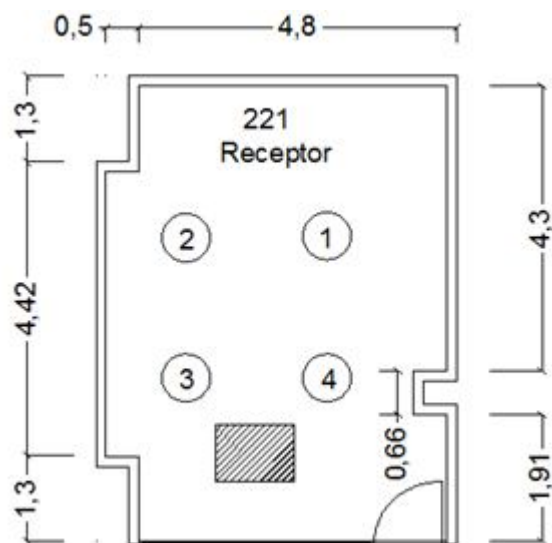


Fig. 5. 32 - Mapa de medições dos níveis de pressão sonora para a sala receptora (sala 221) [Planta do autor].



Fig. 5. 33 - Máquina de impactos normalizada nos três diferentes pisos da sala 319  
a) estrado b) tijoleira e c) alcatifa [Fotos do autor].

#### 5.2.4.3. Isolamento sonoro a ruídos de condução aérea

Numa primeira avaliação, os valores de isolamento sonoro a ruídos aéreos foram medidos, tendo como sala emissora a sala 319 e receptora a sala 318 do C.C. STOP (Fig 5.35), utilizando a metodologia explicada no ponto 5.2.4.2. O quadro 5.17 mostra os valores obtidos nos ensaios respectivos, bem como o valor do isolamento sonoro a ruídos de condução aérea,  $DnT,w$ , do elemento separativo entre as salas 319 e 318.

A segunda avaliação realizada em termos de isolamento a ruídos aéreos visou a ligação da sala 318 com o corredor (Fig 5.35). Neste ensaio, caracterizou-se o isolamento da caixilharia existente como separação das salas com o corredor. Como foi referido no capítulo 4, trata-se de uma caixilharia frágil, com grelhas nas portas (Fig 5.36) o que provoca um abaixamento considerável do isolamento deste tipo de solução. Esta avaliação foi feita usando a sala 318 por facilidade de medição dos níveis de pressão sonora no corredor, o que não era possível para a sala 319.

Os valores medidos *in situ* bem como os obtidos pelos cálculos descritos no capítulo 2 são apresentados no quadro 5.18.



Fig. 5. 34 - C.C. STOP - Medição do nível de pressão sonora na sala 319 (emissora), para se obter o  $DnT,w$  da parede divisória (parede representada na fotografia) [Foto do autor].



Fig. 5. 35 - C.C. STOP - Medição do nível de pressão sonora no corredor, para se calcular o isolamento sonoro da divisória de caixilharia existente [Foto do autor].



Fig. 5. 36 - C.C. STOP - Pormenor das grelhas existentes nas portas da caixilharia para o corredor [Foto do autor].

Quadro 5. 17 - C.C. STOP- Valores médios dos níveis de pressão sonora na sala emissora (319) e receptora (318) e valores de isolamento sonoro a ruídos aéreos do elemento separativo entre as salas.

Frequência (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
<b>Lp (dB)</b>																
Emissor (LE)	86,8	92,0	90,2	89,9	88,4	89,1	91,3	93,5	95,7	90,7	86,4	87,7	87,4	91,0	90,8	83,7
Receptor (LR)	52,8	53,4	55,2	52,2	50,9	48,6	49,8	51,2	51,8	46,6	42,2	37,9	36,1	33,3	29,1	19,3
R.F. Receptor	34,3	25,3	24,2	20,5	20,0	20,8	21,6	21,3	21,0	18,7	15,2	14,8	12,9	10,8	8,6	7,4
Valor final (LR')	52,7	53,4	55,1	52,2	50,9	48,6	49,8	51,1	51,8	46,6	42,2	37,9	36,1	33,3	29,1	19,0
D= LE - LR'	34,1	38,5	35,0	37,7	37,5	40,6	41,5	42,3	43,9	44,1	44,2	49,9	51,3	57,7	61,7	64,7
<b>T.R. (s)</b>																
Receptor	0,88	0,59	0,57	0,53	0,43	0,39	0,39	0,32	0,28	0,27	0,27	0,26	0,30	0,30	0,29	0,27
<b>F. C. = 10*log (TR/T0) (dB)</b>																
Receptor (318)	2,45	0,71	0,58	0,24	-0,67	-1,06	-1,14	-1,96	-2,52	-2,62	-2,68	-2,90	-2,29	-2,27	-2,42	-2,76
DnT (dB)	36,5	39,3	35,6	38,0	36,8	39,5	40,4	40,4	41,4	41,5	41,5	47,0	49,0	55,5	59,3	62,0
<b>DnT,w (dB)</b>	45															
<b>DnT,w + I (=+3) (dB)</b>	48															

Quadro 5. 18 - C.C. STOP - Valores médios dos níveis de pressão sonora no corredor e na sala receptora (318) e valores de isolamento sonoro a ruídos aéreos da fachada da sala respectiva.

Frequência (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
<b>Lp (dB)</b>																
Emissor (LE)	89,3	91,9	91,0	88,3	89,4	91,1	93,4	94,7	96,9	92,3	88,7	89,8	90,3	90,5	91,0	85,7
Receptor (LR)	70,1	76,9	75,5	70,3	70,5	69,3	70,8	70,8	73,2	68,8	65,2	65,9	67,0	67,9	67,4	60,2
R.F. Receptor	34,3	25,3	24,2	20,5	20,0	20,8	21,6	21,3	21,0	18,7	15,2	14,8	12,9	10,8	8,6	7,4
Valor final (LR')	70,1	76,9	75,5	70,3	70,5	69,3	70,8	70,8	73,2	68,8	65,2	65,9	67,0	67,9	67,4	60,2
D= LE - LR'	19,2	14,9	15,4	18,0	18,9	21,8	22,6	23,9	23,7	23,5	23,5	23,9	23,3	22,6	23,6	25,5
<b>T.R. (s)</b>																
Receptor	0,88	0,59	0,57	0,53	0,43	0,39	0,39	0,32	0,28	0,27	0,27	0,26	0,30	0,30	0,29	0,27
<b>F.C. =10*log (TR/T0) (dB)</b>																
Receptor	2,45	0,71	0,58	0,24	-0,67	-1,06	-1,14	-1,96	-2,52	-2,62	-2,68	-2,90	-2,29	-2,27	-2,42	-2,76
DnT (dB)	22	16	16	18	18	21	21	22	21	21	21	21	21	20	21	23
<b>DnT,w (dB)</b>	24															
<b>DnT,w + I (=+3) (dB)</b>	27															

Comparando os valores de isolamento sonoro obtidos, tanto para a fachada de vidro como para a parede de separação entre salas, com os valores do quadro 2.3, pode-se concluir que tanto o isolamento da fachada como o da parede de separação está muito abaixo dos valores necessários para a utilização actual.

Para a fachada, obteve-se um valor de 24 dB, que propicia um entendimento da voz em nível normal, permitindo compreender o que se diz, se bem com bastante atenuação. No que diz respeito à parede o valor apresentado é de 45 dB, o que já não permite a audição de voz com nível normal no compartimento receptor. No entanto, este não era o objectivo tanto da fachada como da parede, pois os valores para os níveis de pressão sonora existentes no emissor, em situações correntes de ensaio, são em muito superiores aos níveis da voz humana.

Estes valores vêm dar razão a todos os ruídos sentidos pelos vizinhos bem como os sentidos nas salas adjacentes, o que torna impossível a concentração dos músicos que nelas ensaiam.

#### 5.2.4.4. Isolamento sonoro a ruídos de percussão

Para obtenção dos valores do isolamento sonoro a ruídos de percussão, foram feitos ensaios utilizando a sala 319 como emissor e a sala 221 como receptor.

Os resultados que caracterizam os três diferentes pisos da sala 319 estão apresentados nos quadros 5.19, 5.20 e 5.21, sendo que estes quadros representam os valores para o piso de tijoleira, alcatifa e estrado com 20 cm respectivamente.

Quadro 5. 19 - C.C. STOP - Valores médios dos níveis de pressão sonora na sala receptora (221) e valores de isolamento sonoro a ruídos de percussão do piso em tijoleira (sala 319).

Frequência (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
<b>L<sub>p</sub> (dB)</b>																
Receptor (LR)	56,3	54,4	52,9	53,9	52,4	51,7	53,5	53,7	56,2	56,2	60,4	61,2	64,8	66,9	66,6	66,8
R. F. Receptor	31,1	27,8	29,2	28,5	28,7	29,2	25,9	24,1	22,0	19,9	18,3	17,2	15,9	14,5	13,7	13,0
V. F. Receptor (LR')	56,3	54,4	52,9	53,9	52,4	51,7	53,5	53,7	56,2	56,2	60,4	61,2	64,8	66,9	66,6	66,8
<b>T.R. (s)</b>																
Receptor	2,87	2,74	1,47	2,07	2,04	1,19	0,91	0,83	0,65	0,58	0,51	0,53	0,59	0,57	0,59	0,62
<b>F. C.=10*log (TR/T0) (dB)</b>																
Receptor	7,59	7,39	4,67	6,17	6,11	3,77	2,58	2,18	1,12	0,63	0,09	0,23	0,68	0,59	0,68	0,91
L'nT	49	47	48	48	46	48	51	51	55	56	60	61	64	66	66	66
<b>L'nT,w (dB)</b>									72							
<b>L'nT,w - I (=3) (dB)</b>									69							

Quadro 5. 20 - C.C. STOP - Valores médios dos níveis de pressão sonora na sala receptora (221) e valores de isolamento sonoro a ruídos de percussão do piso em alcatifa (sala 319).

Frequência (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
<b>L<sub>p</sub> (dB)</b>																
Receptor (LR)	52,8	52,2	52,6	54,1	52,5	53,0	53,2	54,8	54,0	55,3	57,4	58,2	58,5	59,0	57,4	54,6
R. F. Receptor	31,1	27,8	29,2	28,5	28,7	29,2	25,9	24,1	22,0	19,9	18,3	17,2	15,9	14,5	13,7	13,0
V. F. receptor (LR')	52,8	52,2	52,6	54,1	52,5	53,0	53,2	54,8	54,0	55,3	57,4	58,2	58,5	59,0	57,4	54,6
<b>T, R. (s)</b>																
Receptor	2,87	2,74	1,47	2,07	2,04	1,19	0,91	0,83	0,65	0,58	0,51	0,53	0,59	0,57	0,59	0,62
<b>F.C. =10*log (TR/T0) (dB)</b>																
Receptor	7,59	7,39	4,67	6,17	6,11	3,77	2,58	2,18	1,12	0,63	0,09	0,23	0,68	0,59	0,68	0,91
L'nT (dB)	45	45	48	48	46	49	51	53	53	55	57	58	58	58	57	54
<b>L'nT,w (dB)</b>									63							
<b>L'nT,w - I (=3) (dB)</b>									60							

Quadro 5. 21 - C.C. STOP - Valores médios dos níveis de pressão sonora na sala receptora (221) e valores de isolamento sonoro a ruídos de percussão do piso com um estrado com 20 cm de altura (sala 319).

Frequência (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
<b>L<sub>p</sub> (dB)</b>																
Receptor (LR)	48,7	51,6	53,2	52,7	51,3	55,9	54,3	51,1	47,7	45,7	43,0	40,8	35,4	29,8	23,8	21,3
R. F. Receptor	31,1	27,8	29,2	28,5	28,7	29,2	25,9	24,1	22,0	19,9	18,3	17,2	15,9	14,5	13,7	13,0
V. F. receptor (LR')	48,6	51,6	53,1	52,7	51,3	55,9	54,3	51,1	47,7	45,7	43,0	40,8	35,3	29,7	23,3	20,6
<b>T, R. (s)</b>																
Receptor	2,87	2,74	1,47	2,07	2,04	1,19	0,91	0,83	0,65	0,58	0,51	0,53	0,59	0,57	0,59	0,62
<b>F.C. =10*log (TR/T0) (dB)</b>																
Receptor	7,59	7,39	4,67	6,17	6,11	3,77	2,58	2,18	1,12	0,63	0,09	0,23	0,68	0,59	0,68	0,91
L'nT (dB)	41	44	48	47	45	52	52	49	47	45	43	41	35	29	23	20
<b>L'nT,w (dB)</b>									44							
<b>L'nT,w - I (=3) (dB)</b>									41							

Como se pode verificar através da análise dos quadros 5.19, 5.20 e 5.21, os valores de isolamento sonoro a ruídos de percussão vão melhorando quando se passa de tijoleira para alcatifa e de alcatifa para o estrado.

Como referido no capítulo 2, actuar na massa do elemento construtivo (laje), não produziria grandes melhorias a nível de isolamento sonoro a ruído de percussão. As soluções mais adequadas são tornar o revestimento do piso mais resiliente ou actuar sobre a continuidade do mesmo. Estas duas soluções

foram adoptadas para este caso de estudo. Por um lado, tem uma superfície mais resiliente, a alcatifa e, por outro lado, um elemento não contínuo, o estrado com caixa-de-ar de 20 cm, o que vem comprovar a eficácia destes tipos de soluções.

Para se ter uma melhor percepção das alterações provocadas no isolamento, com a mudança do revestimento das superfícies, pode-se consultar as figuras 5.37 e 5.38.

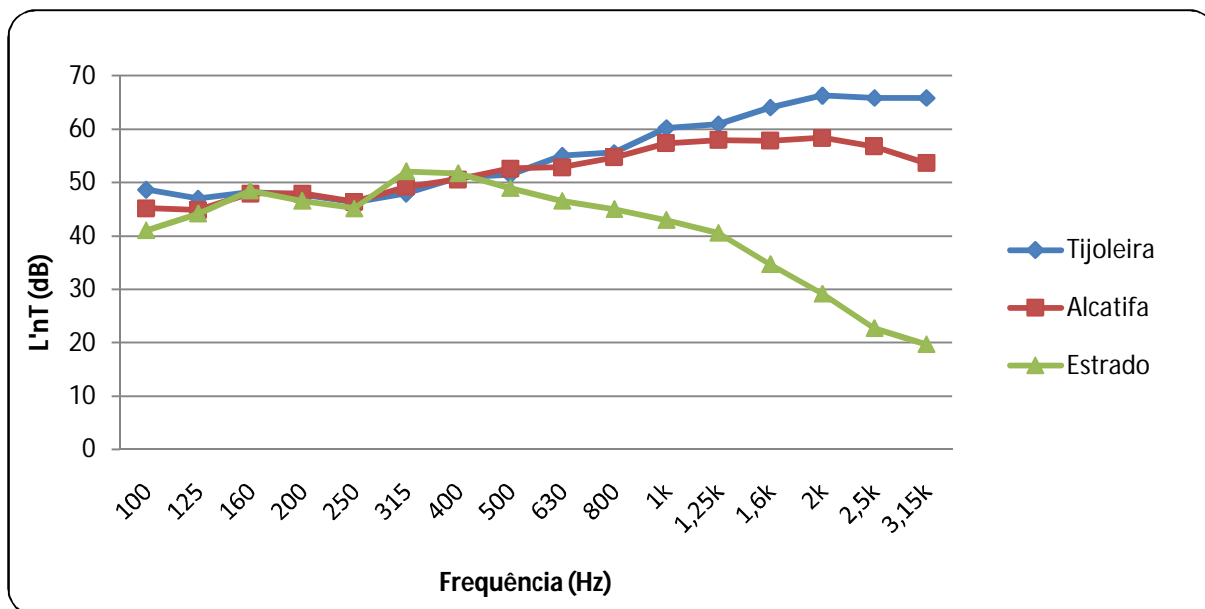


Fig. 5.37 - C.C. STOP – Isolamento sonoro a ruídos de percussão por banda de 1/3 oitava, para os três diferentes tipos de revestimento do piso da sala 319.

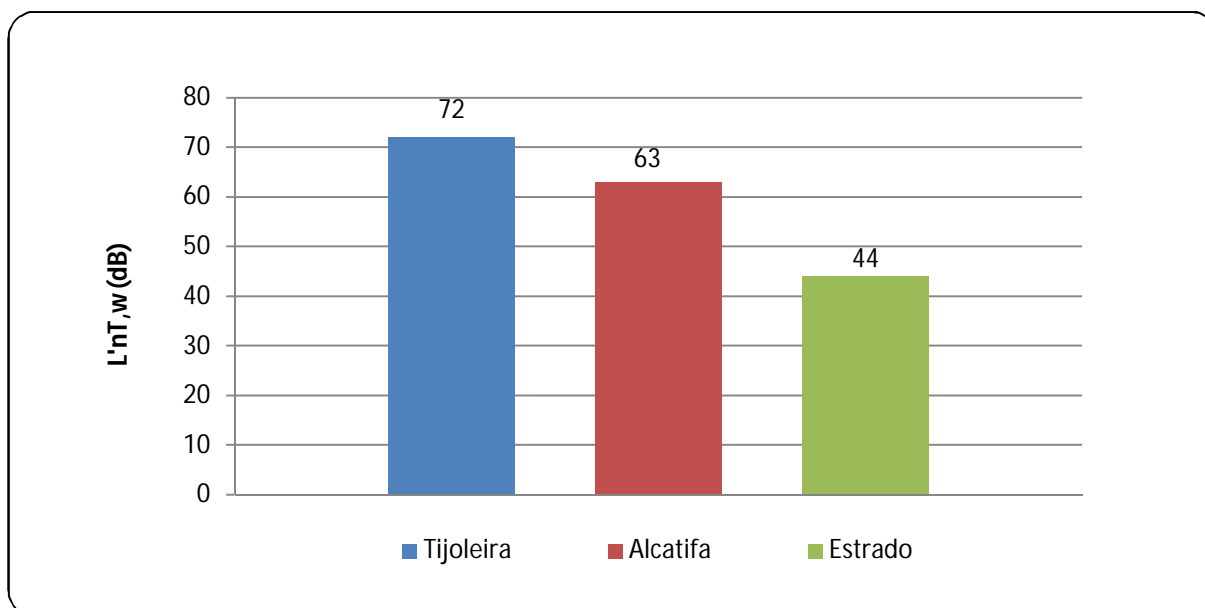


Fig. 5.38 - C.C. STOP – Isolamento sonoro a ruídos de percussão para os três diferentes tipos de revestimento do piso da sala 319.



## 5.2.4.5. Isolamento sonoro a ruídos de condução aérea (exterior) e incomodidade para vizinhos

Aquando dos ensaios para este trabalho, no centro comercial STOP, foi impossível aceder às salas que têm um elemento construtivo em comum com o exterior (fachada). Assim sendo, foi de todo impossível recolher valores de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea para a fachada do edifício em questão.

No entanto por observação, conclui-se que a fachada é do mesmo tipo que as divisórias das salas para o corredor, daí fez-se a analogia entre as janelas abertas (situação muito comum) quando uma banda está a ensaiar e as grelhas presentes nas portas das salas de ensaio. Em ambas as situações o ruído produzido no interior das salas passa quase na sua totalidade para o exterior, quer seja para o corredor quer seja para a rua.

Feita esta comparação admitiu-se o valor de  $D_{2m,nT,w}$  o mesmo que para as fachadas das salas para o corredor com uma imprecisão de  $\pm 3$  dB, devido ao pouco rigor nesta relação (Quadro 5.22).

Quadro 5. 22 – Valor admitido para o isolamento sonoro a ruídos de condução aérea para a fachada exterior

$D_{2m,nT,w}$ (dB)	
Valor existente *	
Sala/Exterior	27 ( $\pm 3$ ) **

\* Valor que inclui a incerteza de 3 dB

\*\* Devido à imprecisão do valor apresentado

A incomodidade para os vizinhos, foi outro factor que não foi possível ensaiar. Além das queixas já apresentadas pelos vizinhos na Câmara Municipal, sempre que contactado por parte do autor, o vizinho em questão respondeu sempre que não havia necessidade de proceder a medições, pois o ruído não era suficientemente elevado para se obterem valores extremos aos quais estaria sujeito noutras alturas.

Houve um contacto por parte de um outro habitante do mesmo edifício vizinho, num sábado de tarde quando o autor se encontrava na sua residência familiar (Castelo de Paiva) e o Engenheiro Costa em Chaves também com a sua família. Sendo impossível executar as medições pretendidas para estes estudos.



# 6

## LEGISLAÇÃO E VALORES IDEAIS

### 6.1. OBJECTIVO

Por não existir nenhum tipo de legislação específica, que regule valores para os casos de estudo neste trabalho, é objectivo deste capítulo, efectuar uma análise aos possíveis valores regulamentares dos parâmetros acústicos estudados nas salas de ensaio e com base nesta análise, apresentar valores ideais/aconselhados para as duas situações distintas estudadas.

Por se tratarem de valores propostos para uma alteração futura, as disposições regulamentares analisadas, são referentes ao Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios – R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho [28], em vigor à data de realização deste trabalho.

Para as salas do C.C. STOP, são analisados e objecto de uma proposta de valores ideais/aconselhados, os parâmetros acústicos: tempo de reverberação  $TR$ , isolamento sonoro a ruídos de condução aérea  $DnT,w$ , isolamento sonoro a ruídos de percussão  $L'nTw$  e isolamento sonoro a ruídos de condução aérea da fachada exterior  $D2m,nT,w$ .

No caso da sala de ensaio da B.M.M.P., apenas o tempo de reverberação  $TR$ , foi alvo de análise e proposta de valores ideais/aconselhados.

### 6.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO $TR$

O tempo de reverberação está directamente relacionado, com as características geométricas e com os materiais que revestem o espaço interior de um determinado local. Qualquer espaço concebido para uma determinada utilização, leitura, música e/ou investigação, fica desadequado, se o tempo de reverberação do local não for o ideal para o exercício dessas mesmas actividades.

Analisando agora a regulamentação em vigor em Portugal, Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios – R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho, poucas são as indicações para o tempo de reverberação de locais cuja principal valência seja a música. Este regulamento apenas obriga a que todos os projectos de condicionamento acústico destes espaços, incluam um estudo específico destinado a assegurar a conformação acústica adequada à sua utilização funcional.

Para se propor um valor ideal/aconselhado recorre-se, à aproximação dos casos em estudo com salas de aula e ao respectivo artigo 7.º, n.º 1 alínea d) do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios – R.R.A.E., onde refere que no interior de locais que constam no quadro III (salas de aula, bibliotecas, salas polivalentes, refeitórios e ginásios), o tempo de reverberação,  $T$ , corresponde à

média aritmética dos valores obtidos para as frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz deve satisfazer a condição:  $T_{[500,1k,2k]} \leq 0,15 \times V^{(1/3)}$  (s), onde V é o volume interior do espaço objecto de análise (em m<sup>3</sup>).

Os valores propostos, com base na aproximação anteriormente referida, para a sala de ensaio da B.M.M.P. e para as salas de ensaio do C.C. STOP (salas 221, 318 e 319) são apresentados no quadro 6.1, com e sem o factor de incerteza I (= 0,25% do limite regulamentar para o TR), indicado no artigo 7.º, n.º 5, alínea d), do R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008.

Importa referir que a fórmula para o cálculo do tempo de reverberação, apresentada anteriormente e presente no R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008, é uma fórmula que retrata os tempos de reverberação para espaços exclusivamente para a palavra. Assim sendo os valores obtidos, deverão ser um pouco baixos para salas de música como é o caso.

Quadro 6. 1 - Valor do tempo de reverberação (s) e incerteza (I) associada, para a analogia de salas de aula com salas de ensaio para música, com base no R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008.

Local	Volume (m <sup>3</sup> )	TR <sub>[500/1k/2k]</sub> máximo (s)		
		TR (Cf. R.R.A.E. 2008)	I (I=0,25×Treg.)	TR + I
B.M.M.P.	228	0,9	0,2	1,1
Sala 221 (STOP)	111	0,7	0,2	0,9
Sala 318 (STOP)	64	0,6	0,1	0,7
Sala 319 (STOP)	88	0,7	0,2	0,8

Como se verifica no quadro 6.1 os valores para o tempo de reverberação variam conforme o volume da sala, devido à sua própria expressão de cálculo,  $TR \leq 0,15 \times V^{(1/3)}$ . Esta expressão é uma função do volume interior da sala, não apresentando qualquer tipo de restrições ao mesmo. Ora, esta metodologia não é a mais adequada para o caso de salas para a música, pois existem salas de variados tamanhos, cujas necessidades a nível de tempo de reverberação continuam as mesmas independentemente do volume destas. Assim está expressão de cálculo, vem permitir tempos de reverberação excessivamente elevados para salas para música com grandes volumes, e tempos de reverberação demasiado baixos para salas para música com reduzido volume.

Para dar apoio aos valores anteriores, recorreu-se a regulamentações internacionais, nomeadamente a Regulamentação Francesa de 2003, onde é determinado para sala de música com volume inferior a 250 m<sup>3</sup> um tempo de reverberação médio nas bandas de frequência dos 500 Hz aos 2000 Hz, entre 0,4 s e 0,8 s [48].

Outro caso semelhante verifica-se no Reino Unido, onde a *Building Bulletin 93, Acoustic Design for Schools (BB93)* de 2003, estabelece um tempo de reverberação médio, para salas para *ensembles* (sala de ensaio da B.M.M.P) e estúdios de gravação (salas de ensaio do C.C. STOP), nas frequências dos 500 Hz aos 2000 Hz, entre 0,6 s e 1,2 s [49].

Apresentam-se no quadro 6.2 os valores comparativos do tempo de reverberação, adequado para salas para música, adoptado noutras regulamentações internacionais.

Quadro 6. 2 - Valores do tempo de reverberação para salas para música adoptadas noutras regulamentações internacionais

Regulamentação	Tempo de reverberação médio - $TR_{[500/1k/2k]}$
Regulamentação Francesa (2003)	$0,4 \leq TR_{[500/1k/2k]} \leq 0,8$ s
BB93 (2003)	$0,6 \leq TR_{[500/1k/2k]} \leq 1,2$ s

Em função do que já foi explicitado e de forma a dotar as salas para música com um tempo de reverberação adequado, consoante se verifica noutros países, sugere-se um tempo de reverberação médio de  $0,4 \leq TR \leq 0,6$  s para estúdios de gravação como as salas do centro comercial STOP e  $0,8 \leq TR \leq 1,2$  para salas de ensaio de bandas como a B.M.M.P..

### 6.3. ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA

Para analisar o índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea  $DnT,w$ , recorre-se novamente à regulamentação em vigor em Portugal, à data de realização deste trabalho, o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios – R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho. No entanto, não existem valores regulamentares para salas de ensaio para música, obrigando novamente, a uma analogia de salas deste tipo com salas de aula para música. Com esta analogia, é possível atribuir valores para o parâmetro acústico  $DnT,w$  cujo elemento de separação, quer entre salas quer entre uma sala e corredor, deve obedecer.

Apresentam-se no quadro 6.3, os valores para o índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea,  $DnT,w$ , para as duas situações distintas, recorrendo-se ao artigo 7.º, n.º1, alínea b) do R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008. Em ambas as situações, existe uma avaliação do índice  $DnT,w$ , sendo que numa este índice é analisado para elementos de separação entre salas de aula musical adjacentes, e noutra este mesmo índice é analisado para elementos de separação entre salas de aula musical e corredores de grande circulação. Representando assim, as duas situações problemáticas existentes no C.C. STOP, ao nível do isolamento a ruídos de condução aérea. No entanto, apresentam-se também os valores para os elementos de separação entre salas de aula musical e/ou corredores com bibliotecas e/ou gabinetes médicos, por se tratar de valores mais rigorosos para o fim desejado.

Quadro 6. 3 – Valores do R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008 para o índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea,  $DnT,w$  (dB).

Locais de recepção -- Locais de emissão	Salas de aula musical (dB)	Bibliotecas e gabinetes médicos (dB)
Salas de aula musical, salas polivalentes, refeitórios, ginásios e oficinas	$\geq 55$	$\geq 58$
Corredores de grande circulação **	$\geq 30$	$\geq 35$

\*\* Considerando que haverá porta de comunicação com os locais receptores: se tal não for o caso, os valores indicados serão acrescidos de 15 dB

No quadro 6.3, pode-se observar que o valor mínimo estabelecido para a situação de duas salas de música adjacentes é de 55 dB. Além da situação escolhida ser a mais parecida com a situação do centro comercial STOP, pode-se atribuir um valor mais rigoroso, escolhendo para local de recepção bibliotecas e gabinetes médicos, passando agora a 58 dB como valor mínimo de isolamento entre salas de ensaio. Esta escolha assenta no facto de nas salas do centro comercial STOP existir uma maior intensidade sonora do que propriamente em salas de aula de música em escolas. Assim, decidiu-se limitar o valor mínimo deste parâmetro neste caso, a um valor superior ao previsto R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008 para salas de aula musical.

Para a situação de salas adjacentes a corredores de grande circulação, o valor mínimo regulamentar é de 30 dB. Recorrendo à mesma justificação anterior, o valor mínimo escolhido para isolamento sonoro desta ligação é de 35 dB. No entanto, estes valores são apenas para elementos separativos com porta. Para elementos de separação que não possuam porta, o valor ideal/aconselhado com base no R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008 é de 50 dB.

Para apoiar os valores do quadro 6.3 analisou-se regulamentação internacional, nomeadamente a *Building Bulletin 93, Acoustic Design for Schools (BB93) de 2003* do Reino Unido. Esta regulamentação define as salas para *Ensembles* (B.M.M.P.) e para estúdios de gravação (C.C. STOP), como sendo fontes emissoras de “altíssimos” níveis de pressão sonora mas locais receptores, cuja tolerância a perturbações sonoras do exterior é muito baixa [49]. Assim sendo, o valor mínimo proposto na *BB93 de 2003* para o índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea  $DnT_w$ , quando existem duas salas deste género adjacentes, é de 60 dB.

Quando se trata de corredores, esta norma define-os como sendo fontes emissoras de altos níveis de pressão sonora e locais receptores com alta tolerância a ruídos exteriores. Para esta situação, está definido nesta regulamentação, o valor mínimo para o índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea  $DnT_w$ , de 45 dB.

Os valores apresentados pela regulamentação francesa para o índice  $DnT_w$ , são valores apresentados em dB(A), não permitindo assim, uma comparação com os valores estabelecidos nos regulamentos analisados anteriormente, R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008 e BB93 de 2003 respectivamente.

Assim, no quadro 6.4 são confrontados os valores dos dois regulamentos analisados, R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008 e a BB93 de 2003.

Quadro 6. 4 – Valores da regulamentação nacional (R.R.A.E.) e internacional (BB93), para o índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea.

$DnT_w$ (dB)		
Regulamentação	R.R.A.E	BB93
Sala/Sala	58	60
Sala/Corredor	35*	45

\* Considerando que haverá porta de comunicação com os locais receptores; se tal não for o caso, os valores indicados serão acrescidos de 15 dB.

Em função de todos os valores anteriormente referidos e de forma a dotar as salas para música de um bom isolamento sonoro a ruídos de condução aérea, sugere-se para o índice  $DnT_w$  valores mínimos de 60 dB , 38 (considerando que haverá uma porta de comunicação com os locais receptores) dB e , para a situação de duas salas de ensaio adjacentes e uma sala adjacente a um corredor de grande circulação,

respectivamente. O valor para o parâmetro  $DnT,w$  entre as salas de ensaio e os corredores de acesso (35 dB), foi aumentado para 38 dB devido à necessidade de dotar a salas de ensaio de um ambiente silencioso propício à concentração dos utilizadores das salas em questão.

#### 6.4. ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE PERCUSSÃO

No caso dos valores para o isolamento sonoro a ruídos de percussão, tentou-se encontrar na regulamentação portuguesa, R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008, algo com mais actividade do que uma simples sala de aula de música, visto que neste tipo de salas não existem grandes ruídos deste género. Assim, analisando o artigo 5.º, n.º 1, alínea g) do R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008, que regulamenta valores para os índices de isolamento sonoro a ruídos de percussão,  $L'nT,w$ , em edifícios habitacionais e mistos e unidades hoteleiras, provenientes de uma percussão normalizada sobre pavimentos de locais de edifícios destinados a comércio, indústria, serviços, ou diversão, como locais emissores, obtêm-se o valor máximo para  $L'nT,w$  de 50 dB.

Analisando agora a regulamentação internacional, do Reino Unido, *BB93 de 2003*, obtêm-se para o índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão  $L'nT,w$ , o valor máximo de 55 dB. Este valor é atribuído a salas para *ensembles* e estúdios de gravação, respondendo às necessidades da sala de ensaio da B.M.M.P. e das salas de ensaio do C.C. STOP respectivamente.

Pela mesma razão apresentada no ponto anterior (6.2), não se teve em conta os valores apresentados na regulamentação francesa. Apresentando-se assim, no quadro 6.5, os valores dos dois regulamentos analisados nomeadamente o R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008 e a *BB93 de 2003*.

Quadro 6. 5 - Valores da regulamentação nacional (R.R.A.E.) e internacional (BB93), para o índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão.

$L'nT,w$ (dB)		
Regulamentação	R.R.A.E	BB93
Salas de ensaio	50	55

Confrontando os valores do quadro 6.5 e com o intuito de dotar as salas estudadas de um bom isolamento sonoro a ruídos de percussão, sugere-se para o índice  $L'nT,w$  o valor máximo de 50 dB. Esta escolha, assenta no facto de se tratar de um valor mais rigoroso, que vai possibilitar melhores condições de ensaio para os utilizadores do C. C. STOP.

#### 6.5. ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA (PAREDE EXTERIOR)

Como foi referido anteriormente, não foi possível obter o valor de  $D2m,nT,w$ , uma vez que foi impossível aceder às salas que tem elementos de separação em contacto com o exterior.

O valor do isolamento sonoro em questão foi atribuído por semelhança com as divisórias das salas ensaiadas para os corredores. O C. C. STOP encontra-se numa zona considerada no PDM (Plano Director Municipal) da cidade do Porto, como sendo uma zona “mista” (Fig. 6.2) além de fazer

fronteira com a zona sensível. Para ser considerado uma zona mista, esta não deve estar exposta a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador  $L_{den}$ , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador  $L_n$  [29].



Fig. 6. 1 - PDM do Porto, onde se verifica que o C. C. STOP está numa zona mista e na fronteira com uma zona sensível [27].

Recorrendo à análise do R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008, optou-se por fazer a analogia do centro comercial STOP com edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras, à semelhança de análises anteriores. No artigo 5.º, n.º 1 alínea a) deste regulamento, é definido como valor mínimo para o índice de isolamento sonoro de paredes exteriores,  $D2m,nT,w$ , um valor de 33 dB.

No entanto este valor é proposto na óptica do ruído de fora não perturbar o interior dos edifícios. Neste caso concreto, verifica-se a necessidade contrária, ou seja, o objectivo seria que o ruído do interior do C.C. STOP não provocasse incómodo no exterior, na vizinhança.

Assim, e analisando apenas o R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008, propõe-se o valor mínimo para o parâmetro  $D2m,nT,w$ , de 35 dB, tendo em conta que o ruído interior é mais elevado que no exterior, havendo a necessidade de elevar o valor para este parâmetro.

## 6.6. INCOMODIDADE PARA VIZINHOS

Apesar de se ter feito um esforço para que fosse avaliado o índice de incomodidade sonora para vizinhos  $L_{Aeq}$ , nos moradores das habitações próximas do STOP, não foi possível avaliá-lo como desejado e referido anteriormente. No entanto, ficam os valores regulamentares neste trabalho para possíveis desenvolvimentos futuros.

A fórmula de cálculo dos valores para comparação com os regulamentares pode ser consultada no ponto 2.5 deste trabalho e, seguidamente, comparados com o artigo 13.º, n.º 1 alínea b) do R.G.R. 2007. Neste artigo a incomodidade sonora para os vizinhos, é avaliada através da diferença entre o valor indicador do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular da actividade ou actividades em avaliação ( $L_{Aeq \text{ ruído particular}}$ ) e o valor indicador do ruído residual ( $L_{Aeq \text{ ruído residual}}$ ). Esta diferença não pode exceder os 5 dB, 4 dB e 3 dB, conforme o período da ocorrência de ruído seja num período diurno, ao entardecer e no período nocturno respectivamente.



## 6.7. RESUMO DOS VALORES PROPOSTOS

Para concluir esta análise regulamentar, é apresentado o quadro 6.6 que resume todos os valores anteriormente propostos, depois de uma análise profunda dos regulamentos R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008, *Building Bulletin 93, Acoustic Design for Schools* (BB93) de 2003 do Reino Unido e a regulamentação francesa de 2003.

Quadro 6. 6 – Quadro resumo dos valores propostos para o TR e isolamentos sonoros nos casos de estudo.

Tempo de reverberação médio – $TR_{[500/1k/2k]}$ (s)	
Estúdios de gravação	$0,4 \leq TR_{[500/1k/2k]} \leq 0,6$
Salas de ensaio para bandas e <i>ensembles</i>	$0,8 \leq TR_{[500/1k/2k]} \leq 1,2$
Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea, $DnT_w$ (dB)	
Valor mínimo ideal/aconselhado	
Sala/Sala	60
Sala/Corredor	38*
Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea, $D2m,nTw$ (dB)	
Fachada do C. C. STOP	35
Índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão, $L'nT_w$ (dB)	
Valor máximo ideal/aconselhado	
Sala/Sala	
Tijoleira	
Alcatifa	50
Estrado	

\* Considerando que haverá porta de comunicação com os locais receptores, se tal não for o caso, os valores indicados serão acrescidos de 15 dB.



## 7

## SOLUÇÕES PROPOSTAS

## 7.1. OBJECTIVO

O objectivo deste capítulo é apresentar possíveis soluções para corrigir a acústica da sala de ensaio e o isolamento sonoro, tanto a ruídos de condução aérea como a ruídos de percussão, para a sala de ensaio da B.M.M.P e para o C.C. STOP respectivamente.

Numa primeira parte serão propostas soluções para a correcção acústica da sala de ensaio da B.M.M.P., tendo como objectivo principal os valores propostos no capítulo 6 e a opinião do maestro sobre as condições ideais para esta sala.

Na segunda parte, serão propostas algumas soluções para o isolamento sonoro a ruídos de condução aérea e a ruídos de percussão para o C. C. STOP. Apresentando também, uma proposta de revestimento das paredes da sala que serviu de base para este trabalho (sala 319), fazendo com que esta cumpra os valores propostos, no capítulo 6, para o tempo de reverberação médio nas frequências entre 500 Hz e 2000Hz e os valores para os índices  $DnT,w$ ,  $D2m,nT,w$  e  $L'nT,w$ .

## 7.2. CORRECÇÃO ACÚSTICA

A sala de ensaio da banda de música dos mineiros do Pejão, apresenta valores de TR, um pouco baixos para uma sala com essa finalidade. No entanto, é opinião do maestro que a sala tem um bom comportamento nas altas frequências, não merecendo especial atenção no tratamento das mesmas. O principal problema apontado pelo maestro da banda, foi o facto de as baixas frequências se ouvirem em demasia, chegando por vezes a ser incómodas. Como os valores dos tempos de reverberação avaliados são de certa forma baixos para a sala em questão, a melhor forma para corrigir o problema indicado, seria actuar na difusão das baixas frequências.

Assim e recorrendo por exemplo a sistemas da *WENGER*, empresa que se dedica ao tratamento de salas de música e venda de materiais e sistemas para essas mesmas salas, pode-se seleccionar o tipo de painéis que melhor se adequa a cada situação. Da variedade de painéis disponíveis, destacam-se dois tipos: painéis *fonoabsorventes*, desenhados para absorver uma ampla gama de frequências e painéis difusores, desenhados para conferir uma maior propagação e harmonia do som, actuando principalmente nas médias e altas frequências podendo ou não, serem absorventes na gama das baixas frequências.

Com a finalidade de criar um espaço com maior equilíbrio tímbrico, onde não houvesse tanta discrepância entre as baixas e as altas frequências, optou-se por propor uma solução com base na colocação de painéis difusores convexos do tipo II (Fig. 7.1). Estes painéis são desenhados para que exista uma boa propagação e harmonia do som na sala, na gama das médias e altas frequências, absorvendo em simultâneo as baixas frequências.



Fig. 7. 1 - Painéis difusores convexos Tipo II a colocar na sala de ensaio da B.M.M.P. [32].

Com estes painéis colocados em locais definidos, é possível absorver parte das ondas de baixas frequência, difundindo o som pela totalidade do volume da sala, impedindo que este chegue até ao maestro com a energia com que chega actualmente, evitando assim o seu desconforto com a qualidade acústica da sala em questão.

Para perceber o funcionamento deste tipo de elementos fica a figura 7.2, onde se pode perceber o modo de funcionamento dos difusores adoptados. Assim é fácil de entender o porquê de se utilizar este tipo de solução.

Na figura 7.2, existem três situações distintas. Numa primeira situação (A), não existe qualquer tipo de tratamento acústico aplicado, onde se pode observar a sobreposição das ondas reflectidas (representadas na figura a cor roxa) sobre as ondas directas (representadas na figura a cor amarela). Na segunda situação (B), existe a colocação de um armário com características absorventes (material da WENGER), onde se observa uma ligeira diminuição das reflexões no espaço interior, da primeira para a segunda situação, havendo agora um equilíbrio entre as ondas reflectidas e as ondas directas. Por último, na situação (C), pode-se perceber o funcionamento dos painéis difusores, notando uma grande diminuição do som reflectido da imagem B para a imagem C. Na imagem final percebe-se que a sonoridade da sala está mais controlada, criando um ambiente acusticamente mais equilibrado, notando-se agora a presença muito menor das ondas reflectidas na acústica da sala, quando comparadas com as ondas directas.

De referir que a imagem B apenas é apresentada para que se perceba a influência dos painéis difusores adoptados, não existindo qualquer intenção de colocar este tipo de armários na sala de ensaio da B.M.M.P.

A colocação destes painéis deve obedecer a algumas regras. Os painéis devem ser colocados a relativa distância do piso, para que as ondas sonoras incidam directamente nos painéis e não na parede neutralizando o efeito dos mesmos. Esta colocação deve ser feita também, tendo o cuidado de não

colocar, em paredes opostas, painéis frente a frente. Com esta colocação alternada evita-se a criação de uma zona de reflexões repetitivas, *flutter*. A figura 7.3 apresenta dois exemplos de salas com este tipo de painéis.

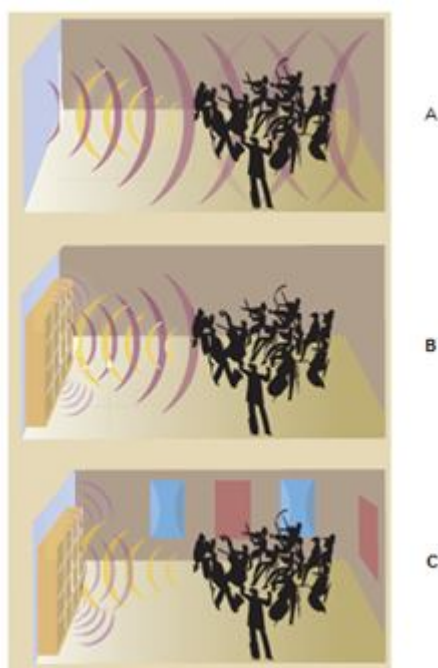


Fig. 7. 2 - Modo de funcionamento da solução proposta anteriormente, painéis difusores/absorventes [32].



Fig. 7. 3 - Exemplo de duas salas de ensaio que utilizam painéis difusores/absorventes [32].

### 7.3. ISOLAMENTO SONORO

Tomando a sala 319 como representativa de todas as salas do centro comercial STOP, serão propostas algumas possíveis soluções para melhoria do isolamento sonoro quer a ruídos de condução aérea quer a ruídos de percussão. Para tal elaborou-se o quadro 7.1, que resume os valores obtidos nos ensaios realizados e os valores ideais/aconselhados propostos no capítulo 6.

Começando por analisar o isolamento sonoro a ruídos de condução aérea no C. C. STOP, pode-se observar (quadro 7.1) que a necessidade mínima de acréscimo de isolamento sonoro,  $\Delta DnT,w$ , é de 12

dB no caso de salas adjacentes. Assim, apresentar-se-ão duas soluções, uma solução será para o caso de se demolir totalmente o elemento de separação existente, construindo um novo de raiz, e outra solução será para o caso de se aproveitar este mesmo elemento de separação.

Como foi dito anteriormente no capítulo 5 e recorrendo a valores do capítulo 2, o isolamento sonoro mínimo a ruídos de condução aérea,  $DnT,w$ , deste tipo de soluções deve ser aproximadamente 60 dB, indo ao encontro ao valor mínimo aconselhado no quadro 7.1.

Quadro 7. 1 - Quadro resumo dos valores obtidos nos ensaios e os valores ideais/aconselhados propostos no capítulo 6.

Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea, $DnT,w$ (dB)			
	Valor existente *	Valor mínimo ideal/aconselhado	$\Delta$
	(a)	(b)	
Sala/Sala	48	60	- 12
Sala/Corredor	27	38/53 (c/ e s/ porta)	-11/-26 (c/ e s/ porta)
Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea, $D2m,nTw$ (dB)			
Sala/Exterior	27 ( $\pm 3$ ) **	35	- 8 a - 5
Índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão, $L'nT,w$ (dB)			
	Valor máximo ideal/aconselhado		
Tijoleira	69		- 19
Alcatifa	60	50	- 10
Estrado	41		9

\* Valores que incluem a incerteza de 3 dB

(-) Isolamento sonoro em falta

\*\* Devido à imprecisão do valor apresentado

$\Delta$  diferença entre (a) e (b)

As soluções propostas são apresentadas nas figuras 7.4 e 7.5, sendo que a solução possível para o novo elemento, a funcionar junto com a parede já existente, está apresentada na figura 7.4 e para o novo elemento isolado, está representado na figura 7.5.

A solução para manter a parede actual é constituída por duas placas de gesso cartonado de 15 mm e uma “folha” de lã de rocha (30 kg/m<sup>3</sup>) com 40 mm de espessura, existindo um pequeno espaço de ar entre estes dois elementos, de 4 mm para cada lado. Esta solução está catalogada como 15+(48)+15 com ROXUL 208 e perfaz uma espessura total de 78 mm para um novo elemento a construir em cada sala.

No caso de se decidir demolir a parede já existente, ter-se-á que utilizar uma solução mais complexa, constituída por quatro placas de gesso cartonado, duas de 10 mm (placas exteriores) e duas de 15 mm (placas interiores) e duas “folhas” de lã de rocha (30 kg/m<sup>3</sup>) com 40 mm cada. Este produto está catalogado como 10+10+(48+48)+10+10 com 2 ROXUL 208, tendo uma espessura total de 146 mm, com um espaço de ar total de 16 mm.

A eficiência das soluções propostas (Fig. 7.4 e 7.5) pode ser observada no quadro 7.2, apresentando-se os valores para as reduções sonoras,  $R$ , para as frequências entre 125 Hz e 4000 Hz e o valor da redução sonora normalizada,  $Rw$ , para cada uma das soluções.

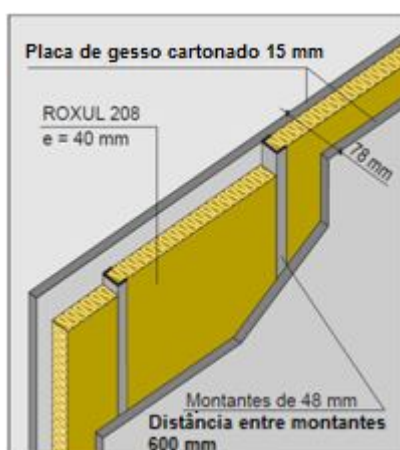


Fig. 7. 4 - Possível solução de gesso cartonado e lã de rocha para um elemento a funcionar em conjunto com a parede já existente [30].



Fig. 7. 5 - Possível solução em gesso cartonado e lã de rocha para o novo elemento sozinho [30].

Quadro 7. 2 - Eficiência das soluções propostas para melhoria do isolamento a ruídos de condução aérea.

Solução	Frequência (Hz)						$R_w$ (dB)
	125	250	500	1k	2k	4k	
15+(48)+15 com ROXUL 208	21,5	35,5	47,6	58,3	46,4	47,6	44
10+15+(48+48)+15+10 com 2 ROXUL 208	36,9	55,5	68,9	75,8	76	74,6	64

Estimando agora o isolamento sonoro real, *in situ*, dos novos elementos (considerando 3 dB para as transmissões marginais), obtém-se um  $D_{nT,w}$  para cada solução de 41 dB e 61 dB respectivamente.

Através das soluções apresentadas, conseguir-se-á um bom funcionamento nas baixas frequências, factor importante para um bom isolamento, devido ao isolamento sonoro registado nessas frequências. Para a primeira solução, tem-se um valor de 19 dB (21,5 - 3), que juntamente com uma pequena caixa-

de-ar entre o novo elemento e a parede já existente, registará valores de isolamento sonoro para as baixas frequências seguramente superior ao anteriormente referido.

Para a segunda solução, o valor de 34 dB (36,9 - 3) que por si só já é um valor razoável para este tipo de isolamento sonoro.

Analisando agora a ligação sala-corredor, existe um défice de isolamento sonoro de 26 dB aproximadamente. Como se trata de um antigo centro comercial, é preferível manter a fachada das lojas (actualmente salas de ensaio) em vidro, mesmo que esta fique opaca. Assim, é possível construir um novo elemento (parede) no interior da caixilharia sem prejuízo de se perderem as características visuais iniciais.

Para colmatar o défice de isolamento sonoro a ruídos de percussão, pode-se recorrer ao tipo de soluções anteriores, à base de elementos de gesso e lã de rocha, para colmatar os problemas acústicos entre as salas e o corredor. A solução escolhida é a mesma solução proposta para a situação anterior, no caso de se manter a parede já existente (Fig. 7.4). O isolamento sonoro,  $DnTw$ , obtido com esta solução é de 41 dB, vencendo assim os 26 dB em défice na situação actual. Esta solução, juntamente com uma pequena caixa-de-ar existente entre a caixilharia e o novo elemento, funcionará bem para as baixas frequências, elevando assim a sua qualidade a nível de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea.

Não esquecendo os ruídos que se propagam através da porta, propõe-se a solução seguinte (Fig. 7.6) a colocar no novo elemento, construído pelo interior da fachada para o corredor, colmatando assim os graves problemas que a actual apresenta, devido principalmente às grelhas existentes (Fig. 5.32). Este modelo de porta, apresenta uma redução sonora normalizada,  $Rw$ , igual a 46 dB, obtendo-se assim um  $DnT,w$  de 43 dB aproximadamente.



Fig. 7. 6 - Porta modelo *SILENTIUM PM 43RE* – Proposta de solução para as entradas das salas do C.C. STOP [31].

Para a fachada exterior, a proposta de solução para vencer os valores mínimos ideais, seria fazer um pequeno corredor entre as salas e as fachadas (Fig. 7.8), situação que não se verifica actualmente (Fig. 7.7) e isolar as salas nesta situação, com as soluções anteriormente referidas.



De notar que esta solução implica a extinção da sala 305 e 309, que eram as salas mais pequenas, para que possa haver circulação no corredor. Estas duas novas passagens devem ser devidamente isoladas com portas próprias para os objectivos. Consultando alguns catálogos, a solução proposta para as mesmas é a porta modelo *SILENTIUM PM 43CF*, representada na figura 7.9. Este modelo de porta, tem uma redução sonora normalizada de 46 dB que, tendo em conta as transferências marginais, na realidade equivale a um valor de  $D_{nT,w}$  de 43 dB aproximadamente.

Outra solução possível que foi utilizada agora pela Câmara Municipal do Porto, enquanto não se decide o futuro do C.C. STOP, é extinguir os ensaios nas salas que tem fachada com o exterior. Estas salas, passariam a ser dedicadas a serviços e alguns comércios existentes no centro comercial, evitando altas pressões sonoras junto à fachada, reduzindo os níveis de incomodidade actuais.

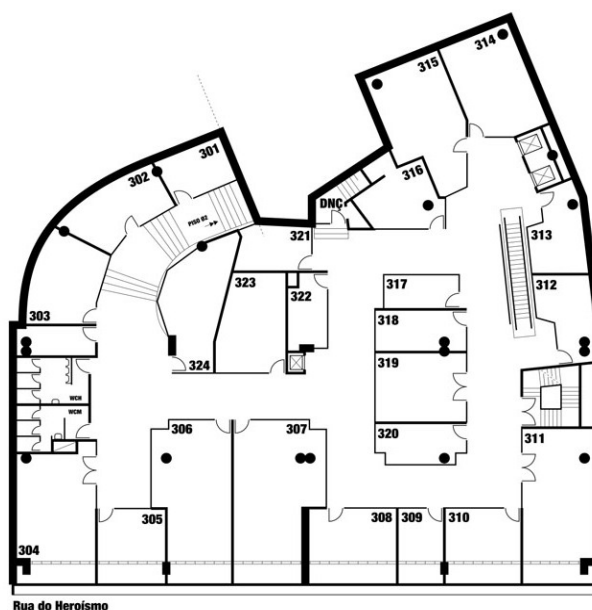


Fig. 7. 7 - Situação actual com salas separadas do exterior apenas por uma caixilharia em alumínio [Planta fornecida por um músico do C.C. STOP].



Fig. 7. 8 - Solução proposta para colmatar os problemas de isolamento sonoro da fachada para o exterior [Alterações do autor].



Fig. 7. 9 - Porta modelo *SILENTIUM PM 43CF* - Proposta de solução para as portas de acesso ao novo corredor [31].

Melhorando agora o aspecto exterior e o desempenho acústico da fachada, cumprindo assim os valores propostos para o índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea para a fachada exterior,  $D_{2m,nT,w}$ . Recorreu-se a uma empresa portuguesa de alumínio, *EXTRUSAL*, e consultaram-se as suas propostas para fachadas tradicionais em edifícios com alturas aproximadamente de 10 m. O produto escolhido para esta solução é o sistema A.062 (Fig. 7.10). Este sistema tem um valor para o índice de redução sonora normalizado,  $R_w$ , de 38 dB [51], que tendo em conta possíveis transmissões marginais, resultaria num índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea para o exterior,  $D_{2m,nT,w}$ , de 35 dB.

Consultando os valores propostos para o parâmetro  $D_{2m,nT,w}$ , podemos concluir que esta solução aplicada cumpre os requisitos mínimos necessários, podendo assim fazer parte desta proposta de solução para melhoria do isolamento global do C.C. STOP.

Com as soluções propostas, os problemas de isolamento sonoro entre salas e para o exterior iriam acabar ou então seriam muito reduzidos, possibilitando assim a concentração dos músicos, um trabalho em melhores condições do que as actuais, bem como reduziria os ruídos ouvidos pela vizinhança.

Dos ensaios realizados ao nível do isolamento sonoro a ruídos de percussão, pode-se retirar um valor que já responde ao valor máximo aconselhado para o índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão,  $L'_{nTw}$ . Esse valor resulta da aplicação de um estrado com 20 cm de altura que provoca um abaixamento do  $L'_{nTw}$  em 28 dB, quando comparado com o obtido só com pavimento, sem estrado e sem alcatifa.

Como se pode observar no quadro 7.1, já existe um valor superior em 9 dB ao valor proposto como máximo ideal para o índice de isolamento a ruídos de percussão, assim não há grande justificação para aplicação de outras soluções. No entanto, para melhorar o aspecto interior das salas e simultaneamente, obter um valor ainda melhor de isolamento sonoro a ruídos de percussão assim como baixar os tempos de reverberação das salas, aconselha-se a aplicação de um tecto falso, aproveitando o grande pé direito das mesmas. Esta solução, pode ser também aplicada nos corredores do C.C. STOP, reduzindo assim os altos tempos de reverberação que actualmente se verificam, que em nada ajudam a reduzir a incomodidade na vizinhança.



Fig. 7. 10 – Aspecto final e esquema da solução (sistema A.062 da *EXTRUSAL*) proposta para a fachada exterior do C.C. STOP [51].

Recorrendo a sistemas da *ROCKFON*, apresenta-se uma solução para os tectos das salas do centro comercial STOP. De todos os produtos para aplicação em tectos disponibilizados por esta empresa, o aconselhado seria o modelo *ARTIC*. Trata-se de um painel com 15 mm de espessura em lã de rocha, com acabamento mineral pintado. Na figura 7.11 apresenta-se, a aparência final da solução proposta para este mesmo tecto, que contribuirá para uma melhor absorção no interior das salas e para uma melhoria considerável da estética da sala, bem como do isolamento sonoro a ruídos de percussão.

De salientar que todas as soluções propostas anteriormente, devem conter apoios anti-vibráteis para evitar a passagem das excitações despertadas nas ondas sonoras para a própria estrutura, evitando assim “pontes” que provocariam uma expansão dos ruídos de percussão.



Fig. 7. 11 - Aspecto final da solução proposta para os tectos (modelo *ARTIC* da *ROCKFON*), para ajudar a colmatar os ruídos de percussão e melhorar a absorção e estética das salas do C.C. STOP [59].

É importante referir, que os elementos de separação (paredes) propostos para melhorar o isolamento acústico no centro comercial STOP têm características pouco absorventes. Assim, os problemas identificados na sala 221 ao nível do tempo de reverberação (TR elevados nas baixas frequências) voltariam a acontecer.

A solução proposta para evitar esta situação, será revestir parte das superfícies reverberantes com material difusor e/ou absorvente. O material aconselhado seriam, os painéis difusores e absorventes *SQUARYDIFFUSOR*, da *JOCAVI* [50]. Trata-se de um painel difusor que apresenta um maior equilíbrio entre difusão e absorção, fabricado em pasta de barro de muito baixa densidade e disponível em várias cores (Fig. 7.12). Este modelo de painel é aconselhado para salas de pequena dimensão devido à pouca acentuação do seu factor de absorção.

Para caracterizar quantitativamente as soluções propostas para os revestimentos, quer do tecto quer da parede, apresenta-se o quadro 7.3, onde são quantificados os coeficientes de absorção sonora das respectivas soluções, anteriormente aconselhadas.



Fig. 7. 12 - Pannel difusor e absorvente SQUARYDIFFUSOR da JOCAVI, para colocar nas paredes interiores das salas de ensaio do C. C. STOP [50].

Quadro 7. 3 – Coeficientes de absorção sonora das soluções propostas para o tecto [31] e para as paredes [50] das salas do C.C. STOP.

Revestimento	Modelo - Empresa	Coeficientes de Absorção ( $\alpha$ )					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz
Tecto	ARTIC – ROCKFON [59]	0,51	0,61	0,58	0,66	0,73	0,73
Parede	SQUARYDIFFUSOR – JOCAVI [50]	0,15	0,46	0,24	0,14	0,08	0,10

Para dimensionar as áreas de aplicação de cada sistema do quadro 7.3, calculou-se o tempo de reverberação para a sala 319, depois da aplicação dos mesmos. Assim, no quadro 7.3 apresentam-se as absorções sonoras ( $m^2$ ) das superfícies para cada frequência entre 125 Hz e 4000 Hz e o tempo de reverberação médio estimado, na gama de frequências dos 500 Hz aos 2000 Hz,  $TR_{[500/1K/2K]}$ .

As áreas consideradas para cada revestimento, foram respectivamente:

- Tecto -  $26,0 m^2$ , totalidade do tecto revestido;
- Parede -  $30,5 m^2$ , revestidas apenas duas paredes não opostas, até 2,9 m de altura ficando uma facha de 50 cm em gesso cartonado ( $5,3 m^2$ );
- Piso (estrado com alcatifa) –  $26,0 m^2$ , totalidade do piso revestido.

Como se pode observar, depois de aplicadas as soluções propostas obteríamos um tempo de reverberação para as bandas de frequência entre 500 Hz e 2k Hz,  $TR_{[500/1k/2k]}$ , de 0,5 s, valor este que se encontra dentro do intervalo definido no capítulo 6 ( $0,4 \leq TR_{[500/1k/2k]} \leq 0,8$  s) para o tempo de reverberação para estúdios de gravação como as salas do centro comercial STOP.

Quadro 7. 4 – Absorções sonoras ( $m^2$ ) das superfícies depois da aplicação das soluções propostas e respectivos tempos de reverberação (s) para a sala 319 do C.C. STOP.

Frequência (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
Absorções ( $m^2$ )	Tecto [31]	13,26	15,86	15,08	17,16	18,98
	Parede [50]	3,78	11,59	6,05	3,53	2,01
	Piso (Estrado com alcatifa) [3]	0,52	1,04	2,08	5,20	9,10
	Gesso cartonado [3]	2,94	1,26	1,05	1,79	1,37
	$\sum A$	19,82	31,54	24,99	27,52	31,20
TR (s)	0,71	0,45	0,56	0,51	0,45	0,43
TR <sub>[500/1k/2k]</sub> (s)	---	---		0,50		---

## 8

CONCLUSÕES E  
DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

## 8.1. CONCLUSÕES

Este estudo tinha como principal objectivo caracterizar acusticamente, através de parâmetros acústicos objectivos, duas salas de ensaio com problemáticas distintas: o isolamento sonoro e correcção acústica. Pretendia-se nessas salas, ensaiar *in situ* alguns parâmetros acústicos que justificassem as problemáticas apresentadas em ambos os casos.

Alem da caracterização, este estudo teve também o objectivo de propor algumas soluções, para a correcção dos problemas acústicos apresentados.

Os parâmetros que permitiram analisar estas duas salas foram o *Tempo de Reverberação*, o *Ruído de Fundo* analisado com os parâmetros  $L_{eq}$  e  $L_{Aeq}$  e com auxílio das curvas *NC* e *NR*, *Isolamento Sonoro a Ruídos de Condução Aérea*, pelos parâmetros  $DnT,w$  e  $D2m,nT,w$ , *Isolamento a Ruídos de Percussão*, avaliado através do  $L'nT,w$ .

Os resultados obtidos estão presentes no quadro 8.1 e 8.2 que servem de resumo dos ensaios efectuados ao longo deste trabalho.

Quadro 8. 1 - Quadro resumo dos valores medidos na sala de ensaio da B.M.M.P.

Sala de ensaio da Banda de Música dos Mineiros do Pejão	
Parâmetros avaliados	Resultados
Tempo de Reverberação ( $TR_{[500/1k/2k]}$ )	
Calculado (s)	1,0
Medido (s)	0,8
$L_{Aeq}$ ruído de fundo no interior (dB)	
	26

Assim conclui-se que os valores obtidos para a sala de ensaio da B.M.M.P., ao nível do tempo de reverberação, são um pouco desadequados para a utilização para que esta se destina. No entanto, o maestro está relativamente satisfeito com estes valores, desejando apenas que não se ouvissem tanto as baixas frequências. Por esta razão optou-se pela solução, apresentada no capítulo 7, de propor a colocação de difusores absorventes de baixas frequências para a correcção acústica deste espaço.

Relativamente ao  $L_{Aeq}$  do ruído de fundo medido no interior da sala de ensaio da B.M.M.P., obtiveram-se valores satisfatórios, registando-se o valor de 26 dB, não sendo necessário qualquer tipo de correcção dos elementos confinantes desta sala.

Em relação aos parâmetros subjectivos avaliados, por intermédio de um questionário, alguns valores não foram ao encontro dos valores obtidos nos ensaios, nomeadamente o *equilíbrio tímbrico* (valor 5) e a *clareza do discurso musical* (valor 6), no entanto na globalidade a sala apresenta bons valores (valor 6) segundo a opinião dos músicos que nela ensaiam, sendo que o ruído exterior (5) é aquele que mais está de acordo com os ensaios efectuados.

Quanto ao Centro Comercial STOP, foram registados valores de tempo de reverberação um pouco diferentes de sala para sala. Este facto deve-se ao revestimento que cada utilizador utilizou na sua sala, passando essas escolhas na sua generalidade por gesso cartonado (sala 221), caixas de ovos (sala 318) e espuma *AGLOMEX* e fibra de coco (sala 319). Os valores obtidos para o  $TR_{[500/1k/2k]}$  foram de 0,60 s, 0,30 s e 0,28 s para as salas 221, 318 e 319 respectivamente (Quadro 8.2). Estes resultados não apresentaram desvios significativos, em relação aos valores ideais resultantes da figura 5.27, apesar disso, os valores para o TR nas baixas frequências medidos na sala 221 eram demasiado elevados para um estúdio para música.

Os ensaios ao isolamento sonoro a ruídos de condução aérea existente nas salas em estudo apresentaram valores, para o parâmetro acústico  $DnT,w$ , de 48 dB e 27 dB, incluído já a incerteza regulamentar (+3 dB), entre as salas 319 e 318 e entre o corredor e a sala 318 respectivamente. Quanto ao isolamento sonoro a ruídos de percussão, analisaram-se três pisos diferentes, que existiam na sala 319. Dessa análise, registaram-se os valores, para o parâmetro acústico  $L'nT,w$ , de 69 dB, 60 dB e 41dB para o piso de tijoleira, alcatifa e com estrado respectivamente (Quadro 8.2).

Por razões já apresentadas anteriormente, foi totalmente impossível avaliar o parâmetro acústico  $D2m,nT,w$ , assim o isolamento da fachada exterior foi estimado por comparação com as divisórias das salas para o corredor, apresentando-se uma incerteza de 3 dB associada à imprecisão deste mesmo valor ( $27 \pm 3$ dB).

Para avaliar todos estes valores, estes foram comparados com os valores regulamentares presentes no R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008, na BB93 de 2003 e na Regulamentação Francesa. Como não existem valores para salas de ensaio para música e estúdios para a mesma finalidade no R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008, foram propostos valores ideais/aconselhados para este tipo de espaços, por analogia com espaços regulamentados no R.R.A.E., Decreto de Lei n.º 96/2008 e com apoio em alguns valores recomendados pela regulamentação referida anteriormente. Assim, obtiveram-se os valores do quadro 8.2 para os isolamentos sonoros ideais,  $DnT,w$ ,  $D2m,nT,w$  e  $L'nT,w$ . Neste mesmo quadro, são apresentados os valores para os respectivos índices (anteriormente referenciados) e para o TR que as soluções propostas para o centro comercial STOP possibilitam.



Quadro 8. 2 - Quadro resumo dos valores existentes, os ideais/aconselhados e possivelmente atingidos com as soluções propostas, para as salas de ensaio do C.C.STOP.

Centro Comercial STOP			
Tempo de Reverberação (TR <sub>[500/1k/2k]</sub> ) (s)			
	Valor existente	Valores aconselhados	Valores das propostas
Sala 221	0,60	0,4 ≤ TR <sub>[500/1k/2k]</sub> ≤ 0,6	N.A.
Sala 318	0,30		N.A.
Sala 319	0,28		0,5
Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea, DnT,w (dB)			
	Valor existente *	Valor mínimo aconselhado	Valores das propostas
Sala/Sala	48	60	41*** e 61****
Sala/Corredor	27	38/53 (c/ e s/ porta)	41
Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea para o exterior, D2m,nT,w (dB)			
	Valor existente *	Valor mínimo aconselhado	Valores das propostas
Sala/Exterior	27 (± 3**)	35	35
Índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão, L'nT,w (dB)			
	Valor existente *	Valor máximo aconselhado	Valores das propostas
Tijoleira	69	50	41
Alcatifa	60		
Estrado	41		

\* valores que incluem a incerteza de 3 dB

\*\* devido à imprecisão associada

\*\*\* valor de  $DnT,w$  com a parede existente

\*\*\*\* valor de  $DnT,w$ , eliminado a parede existente

Com o fim deste trabalho, fica a ideia que é possível obter boas condições acústicas numa sala de ensaio para bandas filarmónicas desde que seja feito um estudo adequado e haja fundos que suportem as soluções propostas, o que nem sempre se verifica no panorama actual.

Quanto ao C. C. STOP é possível obter boas condições de ensaio para os músicos, e acabar com a incomodidade para os vizinhos, desde que haja vontade por parte das entidades governamentais de investir neste espaço, dotando-o das características necessárias para o fim a que se encontra explorado.

## 8.2 PISTAS PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

De forma a completar este estudo e torná-lo mais abrangente, entende-se como necessário efectuar mais medições, aumentando o número das salas de ensaio de bandas filarmónicas e de estúdios analisados.

- Seria útil medir os mesmos parâmetros medidos para a sala de ensaio da B.M.M.P, em várias outras salas em Portugal, para perceber as situações em que os músicos filarmónicos ensaiam, a um nível nacional.
- A nível do Centro Comercial STOP, poderiam ser medidos os parâmetros acústicos objectivos em falta neste estudo, nomeadamente a incomodidade para vizinhos e o índice de isolamento sonoro da fachada para o exterior  $D_{2m,nT,w}$ , completando assim a análise feita até agora.
- Outro possível desenvolvimento a efectuar futuramente seria uma estimativa de custos das soluções propostas, não só para o C. C. STOP como também para a sala de ensaio da B.M.M.P. e depois das obras realizadas, seria interessante verificar *in situ* a eficácia destas mesmas soluções.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - <http://www.novaeletronica.net/curso/cap28.htm> - Acedido em Março de 2010
- [2] - Henrique, Luís L. *Acústica Musical*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2002
- [3] - Carvalho, António Pedro Oliveira de. *Acústica Ambiental e de Edifícios*, edição 7.2, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Setembro de 2009.
- [4] - F. Alton Everest & Ken C. Pohlmann. *Master Handbook of ACOUSTICS*. McGraw-Hill. 2009
- [6] - Silva, P. Martins. *Elementos de Acústica Musical*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1989
- [7] - Trevor J. Cox and Peter D'Antonio. *ACOUSTIC ABSORBERS AND DIFFUSERS, Theory, design and application*. Taylor & Francis, Londres, 2009
- [8] - [http://www.damadeira.pt/xFiles/scContentDeployerTimber\\_pt/docs/Doc134.pdf](http://www.damadeira.pt/xFiles/scContentDeployerTimber_pt/docs/Doc134.pdf) - Acedido em Maio de 2010
- [9] - Física dos Edifícios, Capítulo 5 Acústica dos Edifícios – Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Beja
- [10] - <http://msis.jsc.nasa.gov/sections/section05.htm> – Acedido em Março 2010
- [11] - [http://www.industrialacoustics.com/uk/reference/bluebook/f\\_-\\_nr\\_noise\\_rating\\_curves.html](http://www.industrialacoustics.com/uk/reference/bluebook/f_-_nr_noise_rating_curves.html) - Acedido a 10 de Março de 2010
- [12] - <http://www.defi.isep.ipp.pt/~emn/METROLOGIA%20ACÚSTICA/Acústica%20Parâmetros/analise%20em%20frequencia%20e%20filtros.pdf> – Acedido em Abril de 2010
- [13] - [http://www.maraoonline.com/MARAO/MARAO\\_online/09765A2C-4AD2-47A6-8B32-D9D31419D891.html](http://www.maraoonline.com/MARAO/MARAO_online/09765A2C-4AD2-47A6-8B32-D9D31419D891.html) - Acedido em Abril de 2010
- [14] - <http://www.ionline.pt/interior/index.php?p=news-print&idNota=39942> - Acedido em Abril de 2010
- [15] - NF EN 12354-6 (août 2004): Acoustique du bâtiment - Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments - Partie 6: Absorption acoustique des pièces et espaces fermés (Indice de classement: S31-004-6)
- [16] - [http://www.amde.pt/pagegen.asp?SYS\\_PAGE\\_ID=452227](http://www.amde.pt/pagegen.asp?SYS_PAGE_ID=452227) – Acedido a 10 de Abril de 2010
- [17] - <http://www.ciberjunta.com/pedorido.html> - Acedido em Maio de 2010
- [18] - <http://www.bandadopejao.com/associacao.htm> - Acedido em Maio de 2010
- [19] - <http://www.vibrasom.ind.br/imagens/tabela-nivel-sonoro.jpg> - Acedido em Maio de 2010.
- [20] - <http://www.convertworld.com/pt/> - Acedido em Abril de 2010
- [21] - [http://www.tcc-sa.pt/joomla/images/stories/isolaacust\\_termicos/fichatecnica\\_flex2000\\_aglo60.pdf](http://www.tcc-sa.pt/joomla/images/stories/isolaacust_termicos/fichatecnica_flex2000_aglo60.pdf) - Acedido em Abril de 2010
- [22] - [http://www.dormiente.com/uploads/pics/Futon2\\_06.jpg](http://www.dormiente.com/uploads/pics/Futon2_06.jpg) - Acedido em Abril de 2010
- [23] - Silva, P. Martins da. *Acústica de Edifícios*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1998

- [24] - Domingues, Odete. *A ACÚSTICA NOS EDIFÍCIOS, Materiais e Absorventes Sonoros - Coeficientes de Absorção Sonora*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2005
- [25] - <http://www.porto.taf.net/dp/node/2775> - Acedido em Maio de 2010
- [26] - [http://www.comumonline.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=795&Itemid=81](http://www.comumonline.com/index.php?option=com_content&task=view&id=795&Itemid=81)
- [27] - [http://www.cm-porto.pt/users/0/60/Condicionantes\\_03d675a62712cf6eef3d23ca85560f32.pdf](http://www.cm-porto.pt/users/0/60/Condicionantes_03d675a62712cf6eef3d23ca85560f32.pdf) - Acedido em Maio de 2010
- [28] - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios”, Decreto-Lei nº 96/2008 de 9 de Junho, Diário da República
- [29] - Regulamento Geral do Ruído”, Decreto-Lei nº 9/2007, de 17 de Janeiro, Diário da República
- [30] - [http://rwiumbracoes.inforce.dk/media/66350/catalogo\\_roxul.pdf](http://rwiumbracoes.inforce.dk/media/66350/catalogo_roxul.pdf) - Acedido em Maio de 2010
- [31] - [http://www.silencio.pt/catalogo/list/categoria\\_id/5](http://www.silencio.pt/catalogo/list/categoria_id/5) - Acedido em Maio de 2010
- [32] - [http://www.wengercorp.com/Home/Catalog/spanish/Wenger10Catálogo\\_08\\_Equipamiento%20Acústico.Pdf](http://www.wengercorp.com/Home/Catalog/spanish/Wenger10Catálogo_08_Equipamiento%20Acústico.Pdf) - Acedido em Maio de 2010
- [33] - [http://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d\\_518.html](http://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d_518.html) - Acedido em Maio de 2010
- [34] - [http://www.engineeringtoolbox.com/nc-noise-criterion-d\\_517.html](http://www.engineeringtoolbox.com/nc-noise-criterion-d_517.html) - Acedido em Maio de 2010
- [35] - [http://www.engineeringtoolbox.com/nc-noise-criterion-d\\_725.html](http://www.engineeringtoolbox.com/nc-noise-criterion-d_725.html) - Acedido em Maio de 2010
- [36] - [http://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d\\_60.html](http://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d_60.html) - Acedido em Maio de 2010
- [37] - [http://br.olhares.com/minas\\_do\\_pejao\\_foto2177530.html](http://br.olhares.com/minas_do_pejao_foto2177530.html) - Acedido em Junho de 2010
- [38] - <http://asa.aip.org/web2/asa/abstracts/search.may10/asa616.html> - Acedido em Junho de 2010
- [39] - <http://asa.aip.org/web2/asa/abstracts/search.may10/asa617.html> - Acedido em Junho de 2010
- [40] - <http://asa.aip.org/web2/asa/abstracts/search.may10/asa615.html> - Acedido em Junho de 2010
- [41] - <http://asa.aip.org/web2/asa/abstracts/search.may10/asa851.html> - Acedido em Junho de 2010
- [42] - <http://asa.aip.org/web2/asa/abstracts/search.may10/asa853.html> - Acedido em Junho de 2010
- [43] - Andrade, Joana Maria Figueiredo Mota de. *Caracterização do Conforto Acústico em Escola*, Dissertação final MIEC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Fevereiro de 2009
- [44] - <http://www.fisica.ufs.br/CorpoDocente/egsantana/ondas/acustica/resonador/resonador.htm> - Acedido em Maio de 2010
- [45] - <http://www.inatel.pt/topimagecontent.aspx?menuid=144> - Acedido em Maio de 2010
- [46] - Google Earth
- [47] - [http://bp2.blogger.com/\\_oc07ugnGaeg/Rm6ELGsukMI/AAAAAAAAArI/nNIRVSmqix8/s1600-h/estadio\\_1\\_º\\_de\\_maio\\_Braga.jpg](http://bp2.blogger.com/_oc07ugnGaeg/Rm6ELGsukMI/AAAAAAAAArI/nNIRVSmqix8/s1600-h/estadio_1_º_de_maio_Braga.jpg) - Acedido em Junho de 2010
- [48] - Réglementation sur les bâtiments d’activités spécifiques, Prévention des nuisances acoustiques et visuelles.
- [49] - Building Regulations 2000 – Building Bulletin 93 – Acoustic Design for Schools, Dr. Trevor Hickman, (August, 2003)
- [50] - Catálogo da JOCAVI

[51] - Catálogo da Extrusal.

[52] - [http://www.rockfon.es/graphics/ES/Producto/Fichas\\_tecnicas/FT\\_EkladB40-42-44.pdf](http://www.rockfon.es/graphics/ES/Producto/Fichas_tecnicas/FT_EkladB40-42-44.pdf) -  
Acedido em Junho de 2010

[53] - <http://asa.aip.org/> - Acedido em Junho de 2010

[54] - [http://bayneschool.com/yahoo\\_site\\_admin/assets/images/Midwest\\_Choral\\_Risers.20111936\\_std.jpg](http://bayneschool.com/yahoo_site_admin/assets/images/Midwest_Choral_Risers.20111936_std.jpg) - Acedido em Junho de 2010

[55] - Manternach, Jeremy. *Acoustical considerations for vocal music rehearsal rooms: A choir director's perspectives*, 159<sup>TH</sup> ASA Meeting, Baltimore, Abril de 2010

[56] - Hoover, Anthony K. *Mixing studio isolation*, 159<sup>TH</sup> ASA Meeting, Baltimore, Abril de 2010

[57] - [http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio\\_Arda](http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_Arda) - Acedido em Junho de 2010

[58] - [http://4.bp.blogspot.com/\\_7tsmgYAv2ao/RcN43IJuRhI/AAAAAAAAAbc/7c8XEPs5U-A/s400/Estadio+1º+Maio+3.jpg](http://4.bp.blogspot.com/_7tsmgYAv2ao/RcN43IJuRhI/AAAAAAAAAbc/7c8XEPs5U-A/s400/Estadio+1º+Maio+3.jpg) - Acedido em Junho de 2010

[59] - Catálogo ROCKFON